ACADÉMIE DES SCIENCES.

SÉANCE DU LUNDI 8 SEPTEMBRE 1941.

PRÉSIDENCE DE M. Louis BOUVIER.

MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

DES MEMBRES ET DES CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

ASTROPHYSIQUE. — *L'âge de l'Univers.* Note (1) de M. **Jean Perrin.**

Lord Kelvin voyait l'origine de la chaleur solaire, jusqu'alors entièrement inexpliquée, dans l'énergie de gravitation libérée par la formation du Soleil à partir d'une matière infiniment éparse. Il y avait là de quoi subvenir au rayonnement pendant quinze millions d'années, et les géologues devaient, paraît-il, s'en contenter. Or les sédiments à fossiles suffisent à montrer qu'il ne peut s'être écoulé beaucoup moins d'un milliard d'années depuis que des Mollusques voisins de Mollusques actuels, donc nés en un climat semblable sous le même Soleil, pullulaient dans les mers anciennes.

D'autre part, en sa théorie de la Relativité, Einstein a trouvé que toute énergie a une masse (W/c^2 grammes pour W ergs, c désignant la vitesse de la lumière). Loi d'abord imposée par son pouvoir explicatif et depuis vérifiée (notamment lors de la projection d'hélium issu de lithium bombardé par protons). Langevin a aussitôt suggéré que, si les poids atomiques des éléments sont entiers quand on prend égal à 1,008 celui de l'hydrogène, c'est que ces éléments, en se formant à partir d'hydrogène, dégagent en énergie 8/1000e de la masse initiale. Et j'ai fait remarquer alors que, si le Soleil primitif était fait d'hydrogène, la transmutation de cet hydrogène en hélium ou autres éléments suffirait pour alimenter le

---

(1) Séance du 1er septembre 1941.

rayonnement solaire actuel pendant quelque cent milliards d'années. De quoi permettre, semblait-il, l'évolution des êtres vivants.

Cette durée va nous apparaître presque dérisoire à son tour.

I. Suivant la voie ouverte par Russell, on a trouvé que les étoiles (hors certaines prodigieusement denses) peuvent être rangées sans écarts importants en une série le long de laquelle le rayonnement total, ou *puissance*, décroît, ainsi que le volume et la masse, alors que la température superficielle croît depuis environ 2500° (géantes rouges, puis jaunes) jusque vers 30000° (étoiles blanches) puis décroît (naines jaunes, dont le Soleil, puis rouges). Et une hypothèse, dont la première idée est due à Lockyer, est que chaque étoile passe par cette suite d'états, perdant sa masse du fait qu'elle rayonne. Depuis le stade où se trouve le Soleil, qui, d'après la *constante solaire*, perd 4 millions de tonnes par seconde, il faudrait à ce taux, pour épuiser l'Étoile, environ 15 trillions d'années (« échelle longue » de l'âge de l'Univers).

On sait par ailleurs, d'après le déplacement vers le rouge de leurs raies spectrales, que les Galaxies (dont notre Voie Lactée) s'écartent les unes des autres avec une vitesse proportionnelle à leur distance, soit 160 km/sec par million d'années-lumière (Hubble). C'est-à-dire que l'Univers est en *expansion*. Et, à ce propos, je signale que la lumière partie d'une Galaxie, et perçue de plus en plus grave par celles qu'elle dépasse en sa course, revient infrarouge à son point de départ si, comme l'a suggéré Einstein, l'Univers est hypersphérique. Un calcul, au reste incertain, montre que, d'après l'allure actuelle de l'expansion, les Galaxies devraient être serrées les unes contre les autres il y a seulement quelques milliards d'années, durée avant laquelle rien de ce que nous connaissons ne serait saisissable (« échelle courte » de l'âge de l'Univers). Mais les bases du calcul ne sont pas si sûres qu'on ne puisse supposer que, lorsque les Galaxies étaient voisines et l'expansion encore très lente, l'Univers était constitué depuis un temps immense par des étoiles semblables aux nôtres. Et je compte en effet montrer ici que l'échelle longue, fort allongée encore, doit être décidément acceptée.

II. Je rappelle qu'en sa théorie de l'équilibre radiatif d'une masse gazeuse incandescente, Eddington a trouvé que *la puissance d'une étoile est proportionnelle au cube de sa masse*. Loi que les mesures ont confirmée pour les étoiles de la série de Russell, depuis ces géantes où la densité moyenne s'abaisse bien au-dessous de celle de notre air, jusqu'aux soleils jaunes plus denses que l'eau, et même aux naines rouges où la densité moyenne dépasse

largement celle du plomb, les propriétés des gaz y étant donc conservées (sans doute parce que les atomes, très réduits en volume par une ionisation qui chasse leurs électrons, sont loin de s'y trouver au contact). Seules les étoiles étrangères à la série de Russell, *naines blanches* (sans doute faites surtout de neutrons) où la densité peut dépasser un million de fois celle du plomb, font exception.

Dès lors, d'après la déperdition connue au stade solaire, si une étoile qui épuise sa masse en rayonnement suit la loi d'Eddington, on calcule aisément son âge, qu'on trouve proportionnel à l'inverse du carré de sa masse actuelle. D'abord prodigue, l'étoile a pris 1,7 milliard d'années pour passer de 50 fois la masse solaire S à la masse 40 S, puis 13 milliards entre 40 S et 20 S, puis 250 entre 20 S et 5 S; un trillion d'années sont nécessaires entre 5 S et 2 S, et plus de 5 trillions d'années entre 2 S et S. Soit en tout plus de 6 trillions d'années pour le passé de notre Soleil!

On objectera que peut-être chaque étoile s'est formée à peu près telle que nous la voyons, et aurait à peine commencé à décroître, nos calculs valant pour son avenir et non pour son passé. Nous allons voir que cela n'est pas admissible, du seul fait qu'il existe de nombreuses *étoiles doubles* dont les composantes sont de l'ordre de notre Soleil.

Car, en sa théorie (confirmée par la loi qu'on vient de dire), Eddington trouve qu'au-dessus d'une certaine masse critique (10^{36} grammes ou 55 S) la pression de radiation due au flux lumineux jailli vers l'extérieur l'emporte sur le poids des couches supérieures, l'étoile devant alors se diviser. (Et de fait, à l'écart près signalé pour S Dorade, peut-être instable, qui serait 1,2 fois trop lourde, toute étoile étudiée a une masse inférieure à la masse critique.) Après cette division, une composante au moins est disons 30 fois plus lourde que notre Soleil et, si nous la voyons aujourd'hui au stade solaire, c'est qu'elle a déjà rayonné pendant environ 6 trillions d'années. Argument qui me semble décisif en faveur de l'échelle longue, et n'a pas, je crois, été signalé.

Notons qu'au voisinage de sa puissance actuelle, notre Soleil prend un trillion d'années pour perdre 1/15e de sa masse. Cela fait un trillion d'années qui ont pu permettre le progrès des espèces vivantes avant l'apparition de l'Homme, sous un Soleil à peine plus chaud qu'aujourd'hui, et cela fait un autre trillion d'années sous un Soleil à peine moins chaud qui pourront permettre de nouveaux progrès de ces espèces, en une Évolution qui cette fois semble vraiment au large (et pourrait encore s'adapter ultérieurement à des températures lentement diminuées).

Maintenant que nous pouvons accepter en sécurité le calcul de l'âge d'une étoile par la loi d'Eddington, suivons l'histoire de notre Soleil (ou remontons celle d'une naine rouge). Vingt trillions d'années seront nécessaires pour qu'il devienne 2 fois moins lourd (et 8 fois moins puissant). Puis, de plus en plus économe, par étapes de plus en plus longues, il atteindra, gardant seulement le dixième de sa masse, le stade de ces naines rouges que nous pouvons encore tout juste observer (et qui n'est pas terminal). Ce qui au total aura pris environ *six cents trillions d'années.*

Ceci est la durée qu'une étoile met à se consumer. Or le Ciel nous montre des étoiles à tous les stades de cette évolution. Si l'état actuel est quasi stationnaire, la richesse en étoiles pour chaque stade est proportionnelle au temps passé dans ce stade. Grossièrement cela semble le cas. Alors, et tenant compte de la réserve encore énorme, au sein des Galaxies, des nébulosités sources de géantes, nous pouvons raisonnablement penser qu'une durée décuple de celle d'une étoile se sera écoulée entre le temps où s'allumèrent les premières géantes et celui où les Galaxies se réduiront à un fourmillement de naines rougeâtres de plus en plus amenuisées. Soit une durée peu inférieure à dix mille trillions d'années (10^{16} ans)!

Mais peut-être aucun nombre ne peut encore exprimer cette durée. Car toute mesure n'a de sens qu'autant que nos étalons subsistent et restent concordants. Or il semble qu'en particulier l'inertie, la *masse* d'un objet, a son origine dans l'ensemble de la matière présente dans l'Univers, donc varie avec elle, ce qui peut influer, par exemple, sur la désintégration d'une proportion donnée de radium. En sorte qu'il faudra sans doute élargir nos concepts de Temps et d'Espace, pour les étendre à des conditions très éloignées de celles où ils se sont formés.

III. La *disparition* (au millième près) de la Matière primitive diffère profondément de la perte de masse d'hydrogène transmuté en hélium. Ce n'était là qu'un réarrangement de grains élémentaires conservés en nombre et en nature. Ici ces grains même disparaissent, comme nous savons déjà que peuvent faire un positon et un négaton en engendrant deux photons. Et le physicien doit regarder comme *certain* que, dans les étoiles, et non par une désintégration indépendante des circonstances extérieures, les neutrons et tous autres grains élémentaires disparaissent, transmutés en énergie.

IV. Plusieurs théoriciens de la Relativité ont prévu comme également probables l'Expansion ou la Contraction de l'Univers. Une répulsion de la matière par la matière aux grandes distances explique peut-être pour une

part l'expansion actuelle. Ne peut-on supposer (Francis Perrin) que, lorsqu'il n'y aura plus de matière, l'Espace, qui aura dépassé son état le plus stable comme un pendule dépasse sa position d'équilibre, se mettra à se contracter? Alors les photons, qui sillonnaient cet Espace distendu au début de cette Ère de Contraction, deviendront de plus en plus aigus, et les chances que soient inversées les conditions qui leur avaient donné naissance iront croissant : de nouvelle matière apparaîtra sans cesse aux dépens de lumière, jusqu'à ce que, ayant dépassé dans le sens inverse son état stable, l'Univers où se reformeront les nébulosités puis les étoiles géantes recommence une Ère d'expansion. Et ainsi indéfiniment.

Même le rêve n'est pas exclu que, endormies dans l'espace glacé, les spores qui, selon Arrhenius, chassées par la lumière, propagent la vie de planète en planète, puissent durer plusieurs Ères et transporter de l'une à l'autre les germes de Formes précieuses, comme la semence d'automne après le sommeil hivernal s'épanouit dans la moisson de l'été. Par là triompherait la tendance des Choses vers une Pensée sans cesse plus haute, au travers du balancement éternel d'un Univers qui n'a pas connu de Naissance et ne connaîtra pas de Mort.

CHIMIE ORGANIQUE ET BIOLOGIQUE. — *Synthèse d'une substance cyanogénétique par oxydation de l'aldéhyde formique et de l'ammoniaque.* Note [1] de MM. **Richard Fosse, Roger de Larambergue** et **Jacques Gaiddon.**

L'acide cyanhydrique, très répandu dans le règne végétal, s'y présente à l'état libre ou combiné. C'est ainsi que le composé cyanogénétique le plus anciennement connu, l'amygdaline, lui donne naissance, accompagné de glucose et d'aldéhyde benzoïque, par hydrolyse acide ou enzymatique.

Considéré comme terme intermédiaire générateur des protides (Pflüger, Gautier, Treub etc.), l'acide cyanhydrique devrait son existence, chez les végétaux, à l'action de la lumière et de la chlorophylle sur l'aldéhyde formique et l'acide nitrique (Gautier) :

$$5\,CH^2O + 2\,NO^3H = 2\,CNH + 3\,CO^2 + 3\,H^2O.$$

A ce mécanisme, dont les feuilles auraient le privilège, nous en ajoutons

---

[1] Séance du 1er septembre 1941.

un autre, plus général, s'appuyant sur des réactions chimiques pouvant se produire dans toutes les parties de la plante, pourvues ou non de chlorophylle. Il consiste dans l'oxydation des produits de la réduction chlorophyllienne des acides carbonique et azotique.

Nombreuses sont en effet les expériences qui démontrent que ce nitrile est un produit constant de l'oxydation permanganique, en milieu ammoniacal, en présence d'un sel d'argent ou de mercure, d'un très grand nombre de dérivés du carbone, naturels ou artificiels : *glucides* (glucose, lévulose, saccharose, dextrine, amidon, cellulose); *glycérol*, constituant des lipides; *aldéhyde formique*, premier terme supposé de l'assimilation chlorophyllienne de l'acide carbonique (²); *alcools*; *phénols*; *amines* (³).

De tous les corps étudiés, le formol est celui qui possède la plus grande aptitude à engendrer l'acide cyanhydrique. Dans une série de douze expériences (⁴), on voit en effet les rendements osciller entre 30 et 37,5 de CNH % de CH^2O. 100^{mol} de cet aldéhyde peuvent produire plus de 41^{mol} de ce nitrile, d'après la très simple égalité

$$CH^2O + NH^3 + O = CNH + 2\,H^2O.$$

La formation de CNH par oxydation permanganique des substances organiques n'avait pu, jusqu'ici, être obtenue, de manière appréciable, qu'en présence d'un sel d'argent ou de mercure. Des considérations d'ordre biologique nous ont conduit à chercher la réalisation de ces synthèses en l'absence des métaux cités, inexistants chez les êtres vivants et incompatibles avec la vie du protoplasme.

A la suite de nombreuses expériences, nous avons pu constater que l'oxydation du formol et de l'ammoniaque par le permanganate d'ammonium [mélange de MnO^4K et de $SO^4(NH^4)^2$] conduit directement non à l'acide cyanhydrique libre, mais à une substance qui lui donne naissance par hydrolyse.

Ce terme intermédiaire contient dans sa molécule l'ion CN à l'état dissimulé. Comme l'amygdaline, il dégage l'acide cyanhydrique par simple chauffage dans un appareil distillatoire avec de l'acide sulfurique dilué.

L'action d'un sel d'argent permet, bien plus facilement encore, la carac-

---

(²) R. Fosse, *Comptes rendus*, **173**, 1921, p. 370.

(³) R. Fosse et A. Hieulle, *ibid.*, **174**, 1922, p. 39.

(⁴) R. Fosse et A. Hieulle, *ibid.*, **174**, 1922, p. 1021; R. Fosse, *L'Urée*, Paris, 1928, p. 163-172.

térisation du radical CN, soit à l'état de CNAg cristallisé, soit à celui de CNH libre. Ces réactions donnent, en outre, l'explication de la présence nécessaire et du rôle de ce métal dans les synthèses de CNH par oxydation permanganique des corps carbonés en milieu ammoniacal.

SYNTHÈSE D'UNE SUBSTANCE CYANOGÉNÉTIQUE PAR OXYDATION DU FORMOL ET DE L'AMMONIAQUE. — Dans de l'ammoniaque concentrée (75^{cm^3}) dissoudre du polyoxyméthylène ($0^g,5$) et du sulfate d'ammonium ($12^g,5$), ajouter, en triturant, du permanganate de potassium, très finement pulvérisé, peu à peu, en refroidissant. Après destruction du persel, centrifuger et laver à l'eau le dépôt, de manière à obtenir un volume total de 100^{cm^3}.

Absence d'acide cyanhydrique libre dans la liqueur d'oxydation. — 20^{cm^3} de celle-ci, additionnés d'iodure de potassium, accusent un trouble persistant d'iodure d'argent au contact de la plus petite goutte possible de solution décime d'argent. Le milieu ne renferme donc point d'acide cyanhydrique en quantité appréciable.

Formation d'acide cyanhydrique par distillation de la liqueur d'oxydation. — 20^{cm^3} de liqueur, placés dans un ballon à distiller, acidulés par SO^4H^2 dilué, donnent un distillat possédant l'odeur et les réactions de CNH.

Dosage par la méthode de Denigès.

Argent décime consommé par le distillat fourni par 20^{cm^3} de liqueur....	$1^{cm^3},75$
CNH % de formol oxydé	9,45

ACTION D'UN SEL D'ARGENT SUR LA LIQUEUR D'OXYDATION DU FORMOL ET DE L'AMMONIAQUE PAR LE PERMANGANATE D'AMMONIUM. — *Formation de cyanure d'argent cristallisé.* — La liqueur d'oxydation, additionnée de nitrate d'argent, refroidie et acidulée par l'acide nitrique, abandonne un précipité de cyanure d'argent brut. Celui-ci se dissout dans une solution de carbonate de potassium à 25 %, bouillante, d'où il cristallise par refroidissement en fines et longues aiguilles, d'aspect caractéristique au microscope.

Formation d'acide cyanhydrique libre par l'action successive du nitrate d'argent et de l'acide chlorhydrique. — A 20^{cm^3} de la liqueur d'oxydation qui, nous l'avons vu, était exempte d'acide cyanhydrique libre, puisqu'elle refusait de dissoudre des traces d'iodure d'argent, ajouter 2^{cm^3} d'argent décime, puis de l'acide chlorhydrique en quantité suffisante pour précipiter la totalité de l'argent dissous. Le filtrat donne avec intensité les réactions de l'acide cyanhydrique. La même expérience sans addition préalable de nitrate d'argent ne libère pas, à froid, d'acide cyanhydrique par addition d'acide chlorhydrique.

CHIMIE INDUSTRIELLE. — *Sur la fabrication du sulfate d'ammoniaque par le gypse et sur quelques réflexions concernant la conception inventive.* Note de M. **Georges Claude**.

J'ai décrit récemment (1) un nouveau procédé de fabrication du sulfate d'ammoniaque par le gypse d'après lequel les solutions concentrées d'SO^4Am^2 résultant de l'action du gypse sur CO^3Am^2 et séparées du CO^3Ca, au lieu d'être évaporées, sont précipitées par un excès d'ammoniaque anhydre, lequel est ensuite transféré sur une autre fraction par vaporisation et compression, et ainsi de suite.

J'ai en outre indiqué que les boues de CO^3Ca, ne pouvant ici être lavées pour en récupérer classiquement le sulfate d'ammoniaque, puisque la quantité d'eau du cycle est constante et l'évaporation exclue, pourrait être utilisées telles quelles comme engrais, soit dans les terres décalcifiées par la culture, soit dans les régions naturellement très pauvres en calcaire, comme la Sologne.

Or, si cet emploi des boues non lavées est certainement intéressant pour des terrains pauvres en calcaire, voisins de l'usine d'engrais, il en ira évidemment moins bien si ces terrains sont éloignés : c'est malheureusement le cas de la Sologne par rapport aux usines synthétiques d'ammoniaque, et j'ai dû reconnaître que dans les récentes conditions de transport qu'on nous a fait connaître, les avantages de mon procédé ne payeraient pas une réduction de prix du sulfate des boues capable de compenser le transport aussi lointain de 900^{kg} d'eau ou de CO^3Ca accompagnant 100^{kg} de sulfate d'ammoniaque.

Je me propose de montrer comment mes efforts pour sortir de cette difficulté m'ont conduit à une technique complètement différente, bien plus intéressante au point de vue général.

En étudiant, en effet, les modalités d'application de mon procédé, je me suis demandé si la réaction du gypse sur CO^3Am^2, au lieu d'aboutir classiquement à la production de solutions saturées d'SO^4Am^2, ne pourrait être poussée plus loin; car le sulfate ainsi formé *au delà de la saturation*, ne pouvant se dissoudre, précipitera avec le carbonate de chaux; la valeur de ces boues étant donc relevée, l'influence du transport en sera diminuée.

Conformément aux probabilités, l'expérience a prouvé qu'il en est bien ainsi, et qu'il est même possible de partir d'une solution *saturée* d'SO^4Am^2; c'est alors la *totalité* du sulfate formé qui se forme à l'état solide et précipite avec CO^3Ca.

On voit à quelle simplicité technique on est ainsi amené, puisqu'une simple centri-

(1) *Comptes rendus*, **213**, 1941, p. 105.

fugation du produit de l'opération fournira, d'un côté, des boues à plus de 400^{kg} d'SO^4Am^2 par tonne, directement utilisables comme engrais et devenues un produit de valeur que l'on peut transporter; de l'autre, une solution saturée de sulfate, prête à recommencer le cycle. Donc, plus besoin de précipiter le sulfate par un excès d'ammoniaque, puisqu'il est déjà précipité; plus de dépense de force motrice pour enlever l'excès d'ammoniaque, puisqu'il n'y en a plus; plus de charbon à brûler pour l'évaporation, puisqu'on obtient directement le sulfate solide; enfin, le fait que la réaction n'est pas tout à fait intégrale importe peu, puisque le reste de CO^3Am^2 non engagé se retrouve dans l'eau mère pour le cycle suivant, sauf le peu que retiennent les boues après l'essorage : dès lors, débarrassées en outre du lavage des boues et de l'évaporation des jus, les opérations peuvent se succéder plus rapidement dans un appareillage plus simple, au grand bénéfice des frais d'amortissement et de main-d'œuvre.

Seulement, à mon point de vue, à ces grands avantages s'opposaient trois défauts :

1° On obtient des boues très riches, mais pas de sulfate pur, alors que c'est celui-ci qui est d'emploi courant.

2° Si riches soient ces boues, le prix de leur transport par tonne de sulfate dépasse forcément celui du sulfate pur : or, on ne peut plus agir ici comme quand la boue n'était qu'un sous-produit peu important, dont on pourrait vendre à bas prix le sulfate pour faciliter le transport : ici, c'est tout le sulfate qui se trouve dans les boues et qu'il faudrait dévaloriser : le sacrifice serait trop grand.

3° Ces boues à 400^{kg} de sulfate par tonne contiennent à peu près juste assez de calcaire pour compenser l'effet décalcifiant de ces 400^{kg} de sulfate, donc bien trop peu pour recalcifier progressivement le sol, comme je le désirais.

Ainsi, pour la Sologne, le but est dépassé.

On pourrait corriger ces défauts en enlevant aux boues par lavage une partie du sulfate, mais on retomberait dans la nécessité coûteuse de l'évaporation.

Il y a une autre solution, bien préférable.

Les particules de CO^3Ca provenant de la réaction du gypse sont bien plus petites que celles d'SO^4Am^2. Aussi, bien que la densité du CO^3Ca soit de 2,5, contre 1,7 pour SO^4Am^2, ces particules de CO^3Ca tombent moins vite, au repos, dans la bouillie où elles se sont formées, que celles d'SO^4Am^2 : celles-ci atteignent donc le fond les premières, et si la colonne est assez haute, la bouillie assez fluide, la plus grande partie du sulfate solide formé peut être recueillie, avec très peu de carbonate.

Je citerai l'essai de laboratoire suivant, facilement transposable dans la pratique, même sous forme d'un procédé continu.

Un litre de solution de sulfate d'ammoniaque saturée à 20°, contenant 440^g d'SO^4Am^2 par litre, est additionné de 40^g d'eau, correspondant à l'eau emportée par les boues et le sulfate moins celle apportée par le gypse, puis de 52^g par litre d'ammoniaque anhydre, puis, par agitation, de 67^g de CO^2. Ces données correspondent à la formation de 200^g de sulfate d'ammoniaque par litre, qui pourrait être largement dépassée. En maintenant la température de 40°, qui convient pour la réaction, il précipite environ 60^g de sulfate d'ammoniaque, qui peut être recueilli pour constituer un sulfate de choix après son lavage par une solution concentrée de sulfate d'ammoniaque enlevant l'ammoniaque libre; mais la séparation ultérieure du carbonate de chaux est

si facile qu'on peut se dispenser de cette récolte, qui complique et ralentit la fabrication. On ajoute alors au liquide maintenu à 40° le gypse (passé au tamis de 150), à la dose de 260g par litre, et l'on agite continuellement pour favoriser la réaction. Lorsque 90 % du CO^3Am^2 sont absorbés, soit après moins d'une heure, le liquide est versé dans une éprouvette graduée de un litre, dont la hauteur est d'environ 40cm. Après 3 minutes, on recueille le dépôt solide qui s'est fait au fond de l'éprouvette. Ce dépôt, dont le poids, sec, est de l'ordre de 100g, contient plus de 80 % de sulfate d'ammoniaque. Si la colonne liquide était plus haute et le moment mieux choisi, la séparation serait encore meilleure.

En tenant compte du précipité d'SO^4Am^2 précédent, supposé ici recueilli à part, ce sont donc les 3/4 du sulfate formé qu'on obtient sous forme pure ou à 90 %.

Étant donnée l'inutilité de recueillir à part la fraction du sulfate précipitée par l'ammoniaque, il peut être préférable, surtout si l'on dispose de CO^2 pur, comme c'est le cas dans les usines de synthèse tirant leur hydrogène de la conversion du gaz d'eau, d'ajouter le gypse après NH^3 et de faire agir ensuite CO^2.

On remarquera qu'outre sa simplicité, ce mode opératoire permettra l'utilisation immédiate des appareils d'absorption et de réaction des usines existantes avec, comme conséquence de la suppression des évaporations et des lavages, le bénéfice probable d'une forte augmentation de production : il suffira d'y remplacer par des solutions saturées d'SO^4Am^2 les solutions étendues qu'on y traite actuellement, pour obtenir immédiatement le sulfate solide, facile à purifier au besoin à l'aide de la solution saturée d'SO^4Am^2 sortant de la filtration.

On pourra donc réaliser très vite une transformation dont on pensera sans doute qu'elle sera précieuse dans les circonstances actuelles, puisque, capable d'intensifier de suite une fabrication essentielle et qui n'emploie que des produits nationaux, elle supprimera en outre toute dépense de charbon. Celle-ci étant actuellement de 300kg par tonne de sulfate, on voit que, pour les 150000 tonnes annuelles de SO^4Am^2 par le gypse à quoi on veut pousser la production, cela pourra représenter 40000 tonnes d'économie de charbon par an.

Je dois dire maintenant qu'au sortir de ces travaux, dont d'autres réactions pourraient sans doute bénéficier, j'ai partagé le sort que connaissent fréquemment ceux qui, préférant avancer sans contrainte dans la question qu'ils étudient, écartent de parti-pris la documentation, quitte à apprendre, après le succès, qu'on les a devancés.

Il y a effectivement vingt ans que notre Confrère Matignon a consacré à la réaction du gypse, avec M. Fréjacques, des efforts importants, et qu'ils ont précisément trouvé que l'action du gypse sur CO^3Am^2 peut être dirigée pour obtenir la plus grande partie du sulfate sous la forme solide.

Mon travail aura-t-il donc été inutile, ce qui signifierait peut-être que ma méthode de travail est mauvaise ? Non, sans doute, puisque les résultats de Matignon et Fréjacques continueraient sans cela, enfouis dans le fatras de la littérature, leur sommeil de vingt ans

Or, si je m'étais documenté, j'aurais nécessairement connu ce travail, et, devant la qualité et la conscience de ses auteurs, je me serais abstenu. C'est donc parce que mon ignorance m'a permis de reprendre la question et de me rendre compte du *trou* qui subsistait après l'obtention du mélange de carbonate et de sulfate, que j'ai pu donner le modeste coup de pouce qui permettra d'utiliser leur découverte.

Cela justifiera sans doute une fois de plus mon avis, tout personnel, qu'il vaut mieux s'engager dans une question nouvelle avec son originalité propre, sans s'inquiéter ni des échecs, ni des succès d'autrui, donc avec toute la liberté de ses idées, sous la seule impulsion de ses inspirations et du bon sens, sans se sentir paralysé ou bridé à chaque pas par des idées ou par des faits fort souvent faux ou contestables. Que si, après le succès, on a le désagrément d'apprendre qu'on a été devancé, il y a bien des chances pour que, dans l'infinie diversité des propriétés de la matière, on ait fait autre chose, ou mieux, ou plus complet, et qu'ainsi il restera de votre effort quelque chose d'utile, si tant est, hélas ! que les œuvres de l'induction de la Science soient invariablement bienfaisantes....

Ce qui est sûr, en tout cas, c'est que c'est à cette méthode-là que j'ai dû mes meilleures réussites : si j'avais connu les travaux d'un savant éminent concluant à l'impossibilité de faire fonctionner une machine de détente aux basses températures, si j'avais cru Dewar affirmant que, quand l'air se liquéfie, ses deux éléments se condensent simultanément, si j'avais cru ou connu tous ceux qui niaient la possibilité industrielle des très hautes pressions, je mesurerais encore des isolements sur les voies de tramways.

Cela ne signifie pas, bien entendu, que la documentation soit une mauvaise méthode pour tous; elle permet certainement à d'autres, différemment doués, d'avancer avec plus de certitude; mais, dans les multiples directions où peut souffler l'esprit, à chacun suivant son tempérament....

Ceci dit, je dois reconnaître que, quant à la Sologne, mes ambitions ont une fois de plus été déçues; même dans ces conditions nouvelles, le handicap des transports à grande distance est si lourd que l'on n'arrive encore qu'à la limite des choses possibles. Mais un de mes collaborateurs a été plus heureux; je pense présenter prochainement son travail, qui donnera peut-être la solution de ce problème : le carbonate de chaux des boues calcaires ammoniacales, gratuit pour la Sologne.

ÉLECTIONS.

Par l'unanimité des suffrages M. **Paul Lebeau** est réélu membre de la *Commission de contrôle de la Circulation monétaire.*

CORRESPONDANCE.

M. **Raymond Hocart** adresse des remercîments pour la distinction que l'Académie a accordée à ses travaux.

ANALYSE MATHÉMATIQUE. — *Sur la résolution au moyen de fonctions holomorphes de certaines équations intégro-différentielles.* Note (¹) de M. **Marcel Godefroy**, transmise par M. Henri Villat.

Définissons une métrique $M_l(l \leqq 1)$ en appelant norme d'une fonction $f(\lambda) = \Sigma a_n \lambda^n$ holomorphe à l'intérieur du cercle unité l'expression $\| f(\lambda) \| = \Sigma |a_n| l^n$. La distance de deux fonctions sera la norme de leur différence, et cette distance sera soumise à l'inégalité du triangle, la relation $\| f_1 - f_2 \| = 0$ étant équivalente à $f_1 = f_2$. Je démontre que la norme d'une somme (ou d'un produit) de fonctions holomorphes en nombre fini est au plus égale à la somme (ou au produit) des normes dans la même métrique. J'en déduis les théorèmes suivants.

1. Soit $u_n(\lambda)$ une suite de fonctions normées dans M_l. Si la série de terme général $\| u_n \|$ est convergente, la série $S(\lambda) = \Sigma u_n(\lambda)$ converge sur un cercle de centre O et de rayon l, et elle admet dans M_l une norme au plus égale à $\Sigma \| u_n \|$.

2. L'ensemble des fonctions $f(\lambda)$ holomorphes à l'intérieur du cercle unité et soumises à l'un des systèmes de conditions

$$|a_n| \leqq G \qquad \text{ou} \qquad \Sigma |a_n| \leqq G$$

est complet en soi dans toute métrique M_l.

3. Si une fonction $f(\lambda)$ holomorphe à l'intérieur du cercle unité possède une norme $d \leqq 1/l$ dans une métrique M_l et vérifie un système de conditions

$$|a_n| R^n \leqq G$$

avec $l < R \leqq 1$, la dérivée de cette fonction a pour norme dans M_l un nombre inférieur à $kd |\mathrm{Log}\, d|$, k dépendant seulement de G, R, l.

4. Soient $f(\lambda, \mu)$ une fonction holomorphe pour $|\lambda|$ et $|\mu| < 1$ et d la norme de $f(\lambda\lambda)$ dans M_l avec $|\mu_1|$ et $|\mu_2| < l < 1$. La fonction $F(\lambda)$, définie par la relation

$$F(\lambda) = \int_\Gamma \frac{f(\lambda\mu)\sqrt{-(\mu-\mu_1)(\mu-\mu_2)}}{\lambda - \mu} d\mu$$

(¹) Séance du 1ᵉʳ septembre 1941.

[l'intégration étant effectuée sur un cercle Γ de centre O et de rayon R parcouru dans le sens direct tel que $|\mu_1|$, $|\mu_2|$ et $|\lambda| < R < 1$], est holomorphe à l'intérieur du cercle unité et possède dans M_l une norme inférieure à kd, k dépendant seulement de l, $|\mu_1|$ et $|\mu_2|$.

Me proposant de reconnaître si l'équation intégro-différentielle qui définit le mouvement des lignes de discontinuité de vitesse dans un fluide parfait incompressible admet plus d'une solution holomorphe sur le cercle unité, je déduis des théorèmes précédents que, si la distance dans M_l de deux fonctions $\zeta_1(\lambda)$ et $\zeta_2(\lambda)$ bornées par un nombre B sur le cercle unité et soumises à des conditions

$$|\zeta_1(\lambda)-\zeta_1(\mu)| \geqq A|\lambda-\mu|, \quad |\zeta_2(\lambda)-\zeta_2(\mu)| \geqq A|\lambda-\mu|,$$

est inférieure à $d < 1/l$, la distance entre $\delta_1(\lambda)$ et $\delta_2(\lambda)$, définies par

$$\delta_\varepsilon(\lambda) = \frac{1}{2\pi i}\int_\Gamma \frac{H(\lambda')\sqrt{-(\lambda'-\lambda_1)(\lambda'-\lambda_2)}}{\zeta_\varepsilon(\lambda)-\zeta_\varepsilon(\lambda')}\,d\lambda' \qquad (\varepsilon = 1, 2),$$

est inférieure à $kd|\log d|$, k dépendant seulement de l, A, B. Utilisant alors un théorème général sur l'unicité de la solution de certains problèmes d'intégration, je justifie l'énoncé suivant :

Soient $H(\lambda)$ et $\zeta(\lambda)$ deux fonctions holomorphes à l'intérieur du cercle unité et λ_1, λ_2 deux nombres réels inférieurs à l'unité en module. On suppose que $\zeta(\lambda)$ est bornée en module et ne prend pas plus d'une fois chacune de ses valeurs. On considère l'équation intégro-différentielle

$$\left[\frac{\partial}{\partial t}\zeta(\lambda, t)\right]^* = \frac{1}{4\pi i}\int_\Gamma \frac{H(\lambda')\sqrt{-(\lambda'-\lambda_1)(\lambda'-\lambda_2)}}{\zeta(\lambda, t)-\zeta(\lambda', t)}\,d\lambda'.$$

Il n'existe pas plus d'une fonction $\zeta(\lambda, t)$ satisfaisant aux conditions suivantes :

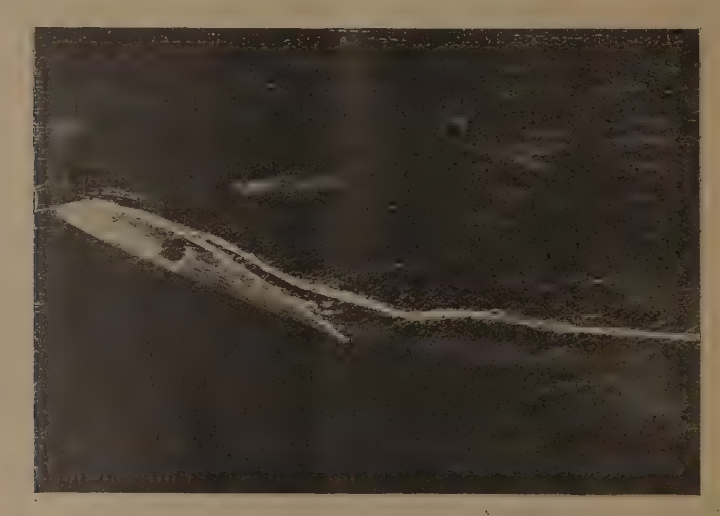
1° C'est une solution de l'équation intégro-différentielle.

2° Elle est holomorphe en λ ainsi que sa dérivée par rapport à t si λ est intérieur au cercle unité et si t appartient à un intervalle t_0, t_1 convenablement délimité.

3° Elle est bornée en module et ne prend pas plus d'une fois chacune de ses valeurs pour t fixe.

MÉCANIQUE DES FLUIDES. — *Étude expérimentale des tourbillons marginaux d'une aile sustentatrice à bouts rectangulaires.* Note [1] de M. **Charles Chartier**, transmise par M. Henri Villat.

L'étude a été faite au tunnel hydrodynamique par chronophotogrammétrie stéréoscopique à l'aide de particules d'aluminium. L'axe du tourbillon était rendu visible par des bulles d'air (voir la figure). Les



Tourbillon marginal d'une aile sustentatrice à bout rectangulaire.
$i = 24°$. $R = 240000$. $\lambda = 2,5$.

restitutions cotées de l'axe et des portions de ligne de courant décrites par les particules étaient faites dans l'espace au stéréotopographe S.-O.-M. Poivilliers.

Caractères généraux du décollement des tourbillons. — 1° Pour des incidences de l'aile supérieures à l'incidence de portance nulle, l'axe du tourbillon décolle sur l'aile du côté de l'extrados et le point de décollement se rapproche du bord d'attaque avec l'incidence croissante. Le fluide s'écoule de l'extrémité de l'aile vers l'extrados, et le sens de l'enroulement des lignes hélicoïdales du tourbillon est dirigé vers la gauche d'un observateur regardant dans le sens de l'écoulement général.

---

(1) Séance du 1er septembre 1941.

2° Pour des incidences inférieures à l'incidence de portance nulle, l'axe du tourbillon part de l'aile du côté de l'intrados, et le point de décollement se rapproche très vite du bord d'attaque avec l'incidence croissante. Le fluide s'écoule du bord de l'aile vers l'intrados. Le sens de l'enroulement est de sens contraire au précédent.

3° Dans le cas de l'incidence de portance nulle, le tourbillon disparaît.

Exemple. — Coordonnées (²) du point de décollement de l'axe du tourbillon marginal d'une aile P.Z.L.D.J.3, corde $a = 12^{cm}$. Nombre de Reynolds $\mathcal{R}$, 240000. Allongement λ, 2,5.

Incidence de l'aile (en degrés).	x (en cordes).	z (en cordes).		y (en cordes).
−13	0,06	Intrados	0,0083	0,146
− 2	0,70	Extrados	0,0575	
+ 7	0,34	–	0,048	0,121
+13	0,26	–	0,032	0,083
+24	0,15	–	0,008	0,076

Détermination des axes des tourbillons. — 1° A une incidence donnée de l'aile, l'axe du tourbillon s'incline en quittant l'aile vers les Z décroissants (³), si l'incidence est supérieure à l'incidence de portance nulle; il s'incline vers les Z croissants, si l'incidence est inférieure à l'incidence de portance nulle.

2° Pour des incidences croissantes de l'aile, supérieures à l'incidence de portance nulle, l'inclinaison de l'axe dans le plan des XZ augmente dans le sens des Z décroissants; elle augmente au contraire dans le sens des Z croissants pour des incidences décroissantes inférieures à l'incidence de portance nulle.

3° Dans le plan des XY, l'axe rejoint rapidement le plan de bout de l'aile à une corde en moyenne à l'aval du bord de fuite.

Exemple. — Aile P.Z.L.D.J.3, $i = +7°$, $a = 94^{mm}$, $\mathcal{R} = 240000$, $\lambda = 2,5$.

X^{mm}..	32	40	45	60	65	77,5	90	101	117	133	157
Z ...	4,5	4	3	0	−1,5	−3,5	−6,5	−8,5	−10,5	−11,5	−12
Y ...	–	–	11,4	11,4	11,4	9	7,5	5,6	3,6	0,5	−1

(²) Le plan xoz est le plan du bout d'aile; ox, corde du profil; oz, perpendiculaire à ox par le bord d'attaque dirigé vers le haut de l'écoulement (côté extrados); oy, axe du bord d'attaque.

(³) XOZ, plan du bout d'aile. OX, sens du courant. OZ, perpendiculaire à OX par le bord d'attaque et dirigé vers le haut de l'écoulement (côté extrados). OY, axe du bord d'attaque.

Diamètres et inclinaisons des filets hélicoïdaux du tourbillon. — 1° Les tourbillons ne prennent, pour une incidence donnée de l'aile, l'apparence d'hélices régulières qu'à une certaine distance à l'aval de l'aile, à environ une corde à partir du bord de fuite. Pendant ce trajet, le diamètre total D du tourbillon croît, puis prend une valeur sensiblement constante qu'il conserve dans toute la zone que nous avons explorée (10 cordes); de même la pente $\operatorname{tg}\alpha$ des hélices augmente avant de prendre une valeur constante.

2° Pour des incidences croissantes de l'aile inférieures à l'incidence de portance nulle, la valeur limite du diamètre total D du tourbillon diminue jusqu'à s'annuler pour l'incidence de portance nulle; quant à la pente $\operatorname{tg}\alpha$ (pas à droite) de familles d'hélices comparables (de même diamètre d) dans les différents écoulements, la valeur limite augmente jusqu'à l'infini. Pour des incidences croissantes supérieures à l'incidence de portance nulle, D augmente, tandis que $\operatorname{tg}\alpha$ change de signe (pas à gauche) et diminue.

Exemple. — Aile P.Z.L. D.J.3, $i = 24°$, $a = 94^{mm}$, $\mathcal{R} = 240\,000$, $\lambda = 2,5$.

X corde..	1.	1 1/3.	1 1/2.	2.	2 1/4.	3 1/3.	4.	5.	5 1/3.	6 1/2.	7 1/2.	8 1/2.
D^{mm}.....	36	40	44	50	53	55	55	55	55	55	55	55
d^{mm}.....	–	–	23	24	24	24	24	24	24	24	24	24
$\alpha°$.......	–	–	54	55	56	56	56	56	56	56	56	56

Pas des filets hélicoïdaux du tourbillon. — 1° Pour une incidence donnée, le pas d'une même famille d'hélices croît légèrement à l'aval de l'aile avant de prendre une valeur constante à une corde environ du bord de fuite.

2° Pour des incidences croissantes de l'aile, inférieures à l'incidence de portance nulle, le pas est à droite et augmente jusqu'à l'infini pour l'incidence de portance nulle; il est à gauche et diminue avec l'incidence pour des valeurs comprises entre l'incidence de portance nulle et l'incidence de portance maximum où il passe par un minimum; il augmente ensuite.

Exemple. — [1] Aile P. Z. L. D. J. 3, $a = 12^{cm}$, $\mathcal{R} = 240\,000$, $\lambda = 2,5$.

Incidence $i°$..........	−13	−3,3	+7	+13	+24
Pas h en m...........	0,530	∞	0,243	0,209	0,138

[1] Les pas mesurés correspondent à des familles d'hélices comparables situées à 1/10e de corde de l'axe des tourbillons et à une distance à l'aval de l'aile de 1 corde où le pas devient constant.

MÉCANIQUE DES FLUIDES. — *Sur une méthode de prolongement analytique applicable à divers problèmes d'hydro- et d'aérodynamique.* Note [1] de M. **Henri Poncin**, transmise par M. Henri Villat.

Des recherches relatives à certaines questions d'hydro- et d'aérodynamique tels que l'étude des phénomènes de déversement et l'étude des cavitations nous ont conduit à poser le problème suivant :

« Soit D un domaine plan à connexion simple ou multiple. Soient d'autre part trois ensembles ponctuels (M) (P) (Q) : M définissant dans l'espace cartésien l'ensemble frontière E de (D). P définissant dans un espace fonctionnel deux fonctions harmoniques conjuguées f et g. Q définissant dans un espace fonctionnel les dérivées du premier ordre des fonctions f et g. On suppose l'existence d'un système de n relations $C_i(M/P/Q)$ entre les points associés des ensembles (M)(P) et (Q). Étudier, dans ces conditions, les fonctions f et les champs vectoriels associés $\vec{w} = \operatorname{grad} f$, dans leur dépendance à l'égard de l'ensemble E d'une part, de la forme des C_i d'autre part. »

Décomposons les n relations C_i en deux groupes contenant respectivement p et q relations, choisies de façon telle que les problèmes aux limites correspondant aux p relations du premier groupe d'une part, aux q relations du second groupe ou aux $(n-q)$ relations complémentaires d'autre part, constituent deux problèmes P_1 et P_2 *bien posés*, au sens de la théorie des équations aux dérivées partielles à caractéristiques imaginaires. En écrivant la coïncidence des solutions des deux problèmes P_1 et P_2 on obtient un système d'équations intégro-différentielles permettant l'étude de la fonction f et des constituants inconnus de l'ensemble E; mais pour déterminer explicitement les caractéristiques numériques du champ w, il est plus simple d'adopter la méthode suivante :

On décomposera l'ensemble E en sous-ensembles continus $E_1, E_2, \ldots, E_k$ de façon telle que la connaissance d'un des constituants de E (que nous appellerons constituant fondamental E_f) jointe à celle d'un certain nombre de conditions C_i, que nous appellerons conditions fondamentales, détermine un problème aux limites permettant de définir sans ambiguïté la fonction f [au moins dans le domaine de chaque point du constituant

(1) Séance du 1er septembre 1941.

fondamental E_f]. En considérant dans l'espace cartésien (z) la symétrie analytique de base E_f, on peut déterminer une fonction $\zeta(z)$, comme définissant l'affixe du transformé de z. Un processus analogue permet de définir dans les espaces fonctionnels (P) et (Q) les deux fonctions $\Phi(F)$ et $\Phi'(F)$ associées au potentiel complexe F.

En tout point fondamental, les fonctions ainsi définies satisfont aux relations

$$(1) \qquad \zeta = \bar{z}, \qquad \Phi = \bar{F}, \qquad \Phi' = \bar{F}', \qquad F' = \frac{dF}{dz}.$$

et les relations C_i sont en chacun de ces points équivalentes à des relations différentielles de la forme

$$(2) \qquad \left\{ \begin{aligned} \frac{dF}{dz} &= C_i(z/F, \Phi), \\ \frac{d\Phi}{dz} &= D_i(z/F, \Phi). \end{aligned} \right.$$

De ce résultat local on déduit, par prolongement analytique, un résultat valable dans un domaine D' d'étendue finie associé au constituant fondamental E_f. A ce constituant, se trouve ainsi attachée une surface de Riemann $(E_f C_i)$, dont les points remarquables peuvent être classés en trois groupes :

S_1 dépendant de E et non des C_i (points singuliers liés à E_f et en général transcendants);

S_2 dépendant à la fois des E et des C_i (points de croisement);

S_3 définissant les points singuliers des lignes de flux de champ w.

Les questions relatives à la détermination de f et à la stabilité des solutions suivant la forme des C_i sont ainsi ramenées à l'étude des fonctions uniformes sur Σ, où les zones d'instabilité sont mises nettement en évidence.

Le champ vectoriel $\vec{w}$ peut être déterminé graphiquement, sans aucune intégration préalable, par utilisation directe des équations du système (2) prolongé sur l'un des feuillets de Σ, et les conditions C_i secondaires déterminent les constituants secondaires de l'ensemble E.

Cette étude très générale permet de condenser en une théorie unique les problèmes physiques, en apparence très différents, dont il a été question au début de cette Note.

MÉCANIQUE CÉLESTE. — *Solution graphique de l'équation de Képler.* Note (¹) de M. **Pierre Humbert**, transmise par M. Henri Villat.

Soient O et F le centre et l'un des foyers d'une ellipse, de demi-axe a et d'excentricité e, K un point de son cercle principal. Menons par O la demi-droite parallèle à FK, et soit L son point de rencontre avec le cercle principal : les triangles OLF et OLK sont équivalents. Si nous désignons par M l'angle FOK et par u l'angle FOL, l'aire du triangle OLF est $1/2\, a^2 e \sin u$. Quant à l'aire du triangle OLK, confondons-la avec l'aire du secteur circulaire OLK, qui est $1/2\, a^2(u - \mathrm{M})$: on aura alors, *approximativement*,

$$u - \mathrm{M} = e \sin u.$$

Le point L du cercle principal donne donc une *valeur approchée* de la solution de l'équation de Képler. D'où une méthode qui paraît nouvelle; pour obtenir rapidement une telle valeur approchée, le mieux sera d'utiliser un rapporteur : on marquera sur sa base le point F, déterminé par la valeur naturelle de e en prenant pour unité le rayon du rapporteur, on repérera sur le limbe le point K correspondant à la valeur de M, en degrés. Puis, au moyen de deux équerres, on tirera, sans avoir besoin de la tracer au crayon, la parallèle à FK passant par O, et on lira sur le limbe la valeur approchée de u. La construction est d'une extrême simplicité, et le matériel, rapporteur, équerres, kutsch, est à la portée de tous : on n'a pas à se servir de tables de sinus ou de logarithmes, comme dans la plupart des méthodes classiques.

Quant à la précision du procédé, on remarquera qu'il revient à confondre $\sin(u - \mathrm{M})$ avec $u - \mathrm{M}$, et suppose donc e petit, ce qui est le cas normal. Par exemple, pour $e = 0{,}2$, il donne, pour $\mathrm{M} = 35^\circ$, $u = 42^\circ{,}5$ et pour $\mathrm{M} = 40^\circ$, $u = 48^\circ{,}5$: les valeurs exactes de u, d'après les tables de Subbotin, étant $42^\circ{,}7$ et $48^\circ{,}6$. L'approximation est donc très satisfaisante.

Notons enfin que, si l'on marque sur un graphique les points O, F et L, une construction élémentaire bien connue permettra de déterminer le point de l'ellipse correspondant à L : on se rendra compte ainsi, d'une façon approchée, du point de son orbite où se trouve la planète au temps donné, et l'on en pourra tirer des valeurs approximatives du rayon vecteur et de l'anomalie vraie.

(¹) Séance du 1er septembre 1941.

ÉLECTRICITÉ. — *Nouvelles expériences sur les semiconducteurs et sur leur rôle en électrophysiologie.* Note de M. **Jean Reboul**, présentée par M. A. Cotton.

M. G. Déchêne a réalisé des expériences sur la distribution des potentiels entre deux électrodes placées dans un semiconducteur et étudié les lois d'établissement des courants correspondants. L'analogie présentée par ces phénomènes avec ceux de l'électrophysiologie m'a mené à étudier les répartitions des potentiels et le régime d'établissement des courants dans des systèmes composés de deux ou plus de deux semiconducteurs au contact. Les expériences ont été réalisées avec des feuilles minces de cellulose comprimées entre deux lames d'ébonite, les contacts étant assurés par des fils minces de cuivre placés sur une des feuilles. Une d. d. p. V_0 est établie entre deux des électrodes A et B, et l'on mesure les potentiels sur les autres électrodes ; on est ainsi amené à envisager la distribution des potentiels entre A et B, et la distribution à l'extérieur de A et de B. Les mesures ont été faites en régime permanent avec un voltmètre électrostatique et en régime variable avec un oscillographe cathodique.

I. *Régime permanent. Distribution des potentiels.* — La distribution des potentiels entre les électrodes a été trouvée analogue à celle déjà établie par Déchêne. J'ai surtout étudié la distribution des potentiels en dehors des électrodes ; la théorie effectuée en assimilant le contact à un système capacité-résistance montre que la répartition des potentiels est exponentielle, le potentiel en un point d'abscisse x est

$$(1) \qquad v_1 = -\frac{v_0}{2}\,\frac{e^{-\frac{x}{L}}}{1+\frac{l}{L}\frac{\lambda_1^2}{\lambda_2^2}e^{\frac{l}{L}}\frac{1}{\operatorname{sh}\frac{l}{L}}} - \frac{v_0}{2}\,\frac{1}{1+\frac{L}{l}\frac{\lambda_2^2}{\lambda_1^2}e^{-\frac{l}{L}}\operatorname{sh}\frac{l}{L}},$$

où l'on a posé

$$\lambda_1^2 = \frac{\rho}{r_1}, \qquad \lambda_2^2 = \frac{\rho}{r_2}, \qquad \frac{1}{L^2} = \frac{1}{\lambda_1^2} + \frac{1}{\lambda_2^2},$$

l, distance entre les deux électrodes A et B ; r_1, r_2, résistances des couches semiconductrices par unité de longueur ; ρ, résistance de contact par unité de longueur. L'expérience vérifie que l'on obtient une distribution des potentiels exponentielle ; mais souvent la courbe de distribution est plus complexe, et se décompose en une somme de deux exponentielles. Si l'on

fait l'étude de la répartition des potentiels sur une seule feuille semiconductrice, on constate que le potentiel décroît exponentiellement jusqu'à une distance de 5^{mm} à 6^{mm} de l'électrode d'amenée du courant pour devenir nul ensuite; il apparaît donc que la courbe complexe obtenue avec un système de deux ou plusieurs semiconducteurs au contact est due à une influence perturbatrice (contact de l'électrode cuivre avec le semiconducteur) qui ne s'étend pas plus loin que 5^{mm} à 6^{mm}; la distribution se fait ensuite suivant une exponentielle régulière, les potentiels atteignant une valeur limite à plusieurs centimètres de l'électrode (15^{cm} à 20^{cm}), valeur qui est donnée par la formule (1) et peut être assez élevée. J'ai étudié expérimentalement l'influence de la distance interélectrodique l sur le potentiel mesuré en un point d'abscisse x et l'influence du potentiel appliqué entre les électrodes A et B. Les constantes intervenant dans (1) sont reliées aux dimensions des semiconducteurs par les formules

$$\frac{1}{\lambda_1^2} = \frac{2b}{a^2 - b^2}\,\frac{\rho_1}{\sigma}, \qquad \frac{1}{\lambda_2^2} = \frac{2}{b}\,\frac{\rho_2}{\sigma}.$$

dans le cas de deux semiconducteurs cylindriques coaxiaux; a, diamètre extérieur; b, diamètre du semiconducteur intérieur; ρ_1 et ρ_2, résistivités; σ, résistance de contact par unité de surface. Dans le cas de semiconducteurs plans, on a

$$r_1 = \frac{\rho_1}{\varepsilon_1 d}, \qquad r_2 = \frac{\rho_2}{\varepsilon_2 d}.$$

ρ_1, ρ_2, résistivités des couches 1 et 2; ε_1, ε_2, épaisseurs; d, largeur commune.

L'expérience fournit un bon accord avec la théorie. On a pu montrer l'existence de phénomènes analogues dans le cas du courant alternatif et en réaliser la théorie.

II. *Régime variable.* — En étudiant les systèmes précédents en régime variable à l'oscillographe cathodique, j'ai constaté à la fermeture du courant la production d'une réponse que l'on peut enregistrer à plus de 10^{cm} du point d'application du courant; cette réponse a une forme analogue à celle constatée pour les courants d'action étudiés en physiologie; elle correspond à la propagation d'une onde de perturbation électrique dont j'ai mesuré la vitesse qui varie entre 1 et 5 m:s, suivant l'épaisseur des semiconducteurs. La réponse croît quand le potentiel appliqué croît, mais atteint une limite qu'elle ne peut dépasser, quel que soit le potentiel. La réponse diminue avec la distance à l'électrode excitatrice, elle est très faible à des distances dépassant 15 à 20^{cm}. Son amplitude est plus grande

du côté de la cathode que du côté de l'anode; elle atteint plusieurs dizaines de millivolts. Si deux excitations identiques se suivent de près, la réponse à la deuxième est plus faible; la perturbation produite persiste un certain temps après l'ouverture du courant.

Ces phénomènes présentent de profondes analogies avec ceux constatés en physiologie, et suggèrent une interprétation physique plus serrée des résultats de l'électrophysiologie, en assimilant fibres nerveuses ou musculaires à des systèmes de semiconducteurs.

PHOTOÉLECTRICITÉ. — *Irrégularités de fonctionnement de certaines cellules photoélectriques à vide.* Note de M. **Démètre Cavassilas**, transmise par M. Charles Fabry.

Les cellules *à vide* étudiées, *au césium sur argent oxydé*, se rattachent au type « à anode centrale », pour lequel la courbe courant-tension présente l'aspect général bien connu, conforme aux prévisions théoriques de Ives et Fry [1]. La fréquence du rayonnement excitateur influe notablement sur la forme et l'étendue de la portion ascendante de la courbe, la tension de saturation augmentant à mesure que la longueur d'onde diminue [Ives, Déjardin [2]].

Ayant relevé les caractéristiques d'un grand nombre de cellules de cette catégorie, *provenant de fabrications différentes*, j'ai constaté que, pour la plupart d'entre elles, la courbe courant-tension ne présente aucune déformation locale ou singularité appréciable, en dehors de l'absence de saturation rigoureuse attribuable à diverses causes (isolement imparfait, résidu gazeux etc.). Cependant des irrégularités remarquables ont été mises en évidence sur certaines cellules, qui ont été soumises alors à un examen approfondi.

Dans un domaine de tensions assez étendu (par exemple, de 40 à 60 volts), le fonctionnement de ces cellules anormales est extrêment instable : le courant débité sous l'influence d'un éclairement constant, pour une tension déterminée, varie d'une mesure à l'autre ou au cours d'une même mesure. Je suis parvenu à obtenir des phénomènes susceptibles d'être reproduits en faisant varier la tension d'une manière *continue*, à l'aide d'un potentiomètre

---

(1) *Astrophys. Journ.*, 66, 1922, pp. 1-15.

(2) *Rev. Gén. de l'Électricité*, 34, 1933, pp. 515-526.

à contact glissant. Dans ces conditions, et pour des valeurs croissantes de la tension V, le courant i demeure bien défini et augmente régulièrement jusqu'à ce qu'il atteigne l'intensité i_1 correspondant à $V = V_1$, dans une région où la saturation est déjà à peu près réalisée. Au delà de cette limite ($V > V_1$), le régime devient instable. On porte alors la tension à une valeur suffisamment élevée (par exemple 130 volts), à partir de laquelle on observe les variations du courant à tension décroissante. Le courant décroît très légèrement (saturation non rigoureuse), mais reste bien déterminé jusqu'à ce qu'il atteigne l'intensité i_2 ($i_2 > i_1$) correspondant à la tension V_2 au-dessous de laquelle le régime devient encore instable. Le tracé de la courbe (i, V) fait donc apparaître deux zones de stabilité correspondant aux tensions faibles (le courant augmentant assez rapidement avec la tension) et aux tensions relativement élevées (saturation plus ou moins parfaite). En général, V_1 dépasse V_2 de 5 à 15 volts. Il existe donc, entre les deux zones précédentes, un intervalle de tensions pour lesquelles le courant peut prendre *deux* valeurs relativement stables voisines de i_1 et de i_2. Les limites V_1 et V_2 varient légèrement d'une expérience à l'autre, mais la moyenne $U = 1/2(V_1 + V_2)$, et la variation relative $\alpha = (i_2 - t_1)/i_1$ conservent très sensiblement les mêmes valeurs pour une cellule déterminée, quel que soit l'éclairement de la surface cathodique.

Les phénomènes peuvent être observés en lumière blanche (lampe à incandescence) ou monochromatique. Dans le second cas, on constate que U ne dépend pas de la longueur d'onde, mais que, par contre, α varie considérablement avec la fréquence du rayonnement excitateur. J'ai pu construire, pour chaque cellule, la courbe représentant les variations spectrales de α dans l'intervalle 500-12000 Å. Il s'agit d'une courbe *en cloche*, variable d'une cellule à l'autre, mais dont le maximum α_m (compris entre 0,1 et 0,7) apparaît toujours vers 6000 Å, c'est-à-dire pour une longueur d'onde λ'_m très inférieure à celle du maximum de l'émission photoélectrique monochromatique (λ_m, voisin de 8000 Å), et un peu au delà du minimum de l'émission (vers 5200 Å). Le rapport α devient de plus en plus faible et tend pratiquement vers zéro à mesure que l'on se rapproche du seuil photoélectrique λ_0 (entre 11500 et 12000 Å).

Dans le tableau ci-après ont été rassemblées les valeurs caractéristiques de quatre cellules anormales de provenances et de structures différentes.

Cellule.	N°.	λ_0.	λ_m.	λ'_m.	α_m.	Lumière blanche (temp. de couleur 2900° K.). U.	α.
Philips 3512,	1.	12000 Å	8500 Å	5800 Å	0,73	65 V	0,15
»	3.	11500	8250	6200	0,26	80	0,10
Fotos TCV3,	210.	12000	8000	6000	0,49	40	0,18
C. N. R. S.	246.	11500	7250	6250	0,16	50	0,11

Cellules Philips. Ampoule sphérique; dépôt cathodique formé sur la paroi interne de l'ampoule; isolement médiocre (courant d'obscurité proportionnel à la tension appliquée); saturation assez correcte.

Cellules Fotos et C. N. R. S. Ampoule tubulaire; plaque cathodique cylindrique; tige anodique axiale; isolement et saturation corrects.

Des expériences analogues ont été effectuées en plaçant la cellule dans un champ magnétique dirigé approximativement de la cathode vers l'anode. Les irrégularités observées en l'absence de champ magnétique sont alors *supprimées* ou *plus ou moins atténuées*. Dans certains cas, la discontinuité qui caractérise la région intermédiaire, dans l'échelle des tensions, fait place à un accroissement rapide du courant, à partir d'un potentiel voisin de U.

Les anomalies précédemment décrites doivent sans doute être attribuées, tout au moins partiellement, à l'accumulation de charges négatives sur la paroi interne (cellules à plaque cathodique indépendante) ou sur la fenêtre de l'ampoule (cellules Philips). Il serait intéressant d'examiner l'influence de telles charges sur les trajectoires des photoélectrons, et de tenter d'expliquer ainsi les principaux phénomènes observés (discontinuité du courant et effet spectral relatif au rapport α).

PHYSIQUE COSMIQUE. — *Nouvelles expériences sur la création par le rayonnement cosmique de corpuscules pénétrants de grande divergence* [1]. Note [2] de M. **Jean Daudin**, présentée par M. Charles Maurain.

Les coïncidences entre compteurs logés dans le plomb peuvent *a priori* être attribuées à trois causes, classées suivant l'ordre décroissant des énergies mises en jeu et par conséquent suivant une vraisemblance croissante :

(1) Voir P. Auger et J. Daudin, *Comptes rendus*, 213, 1941, p. 24.

(2) Séance du 25 août 1941.

1° des corpuscules parallèles pénétrants accompagnés de secondaires ou pinceaux gerbigènes pénétrants observés dans les grandes gerbes;

2° des corpuscules pénétrants sans secondaires, tels que des mésons, créés dans des grandes gerbes de l'air et associés à elles;

3° la projection dans le plomb de corpuscules de grande divergence.

Trois séries d'expériences nouvelles appuient le choix fait entre ces hypothèses.

A. *Influence de la cloison* (*montages analogues aux montages de la Note précédente*). — La courbe a été établie de 0,2 à 10^{cm} de plomb; l'absorption est d'abord très rapide, puis beaucoup plus lente et se montre, comme nous l'avons dit, incompatible avec l'hypothèse 2; elle montre également l'hétérogénéité du rayonnement secondaire divergent.

Dans l'hypothèse 1, un pinceau gerbigène sortant dans une cavité est accompagné d'un tel nombre de secondaires que le compteur est sûrement touché. Le nombre des coïncidences serait donc proportionnel à la surface des cavités.

Nous avons dissocié la cloison de 5^{cm} en deux cloisons de 2 et de 3^{cm}, accolées respectivement aux compteurs 2 et 3. Le volume des cavités est alors réduit de 30 %. Expérimentalement on ne trouve aucun changement.

Sur la suggestion de M. P. Auger, j'ai rapproché les compteurs de la cloison médiane maintenue égale à 5^{cm} de plomb. Dans l'hypothèse 1, l'effet devrait être nul ou très faible; dans l'hypothèse 3, il devrait y avoir une augmentation, puisqu'on rapproche les compteurs de la source du rayonnement divergent.

Expérimentalement : axes des compteurs distants de 16^{cm} : $1,1 \pm 0,1$; axes des compteurs distants de 10^{cm} : $2 \pm 0,2$.

B. J'ai répété l'expérience 2 [1] avec la même géométrie, mais dans l'air, où les coïncidences sont dues à des rayons de gerbes électroniques plus ou moins parallèles.

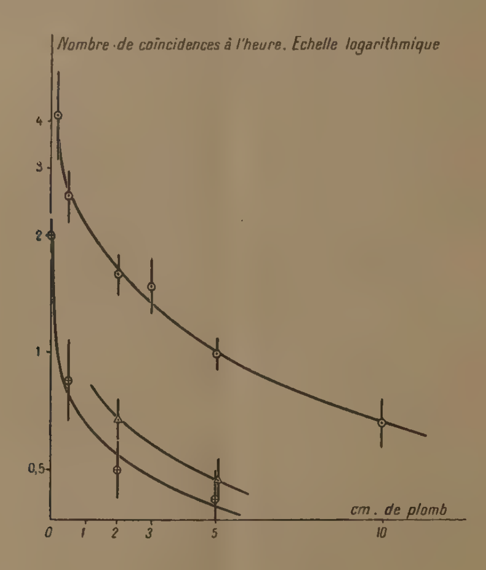
Le compteur 4 étant aligné avec les compteurs 1,2, on enregistre 132 quadruples sur 249 triples, soit 53 %. Le compteur 4 décalé, on enregistre 39 quadruples sur 110 triples, soit 36 %. Il y a donc bien une baisse qu'on ne retrouve pas au cas où le montage est logé dans le plomb. Les conclusions de la Note précédente sont donc confirmées.

C. J'ai disposé les compteurs logés verticalement dans le plomb immédiatement à côté d'une chambre de Wilson et pris 144 clichés commandés par les coïncidences et 83 clichés au hasard. En remplaçant la chambre par un compteur, 6 coïncidences sur 39 actionnaient également ce

quatrième compteur, l'on devait donc s'attendre à avoir 10 à 20 % des clichés significatifs, contenant des rayons associés à ces coïncidences triples.

a. Sur 144 photographies commandées, il y a 11 clichés contenant plus de 4 rayons, et sur les 83 clichés au hasard il n'y en a aucun. De tels clichés sont caractéristiques de la partie centrale d'une grande gerbe : celles-ci seraient donc associées effectivement aux chocs simultanés mais seulement pour 5 à 10 % (compteurs séparés par une dizaine de centimètres de plomb).

b. S'il y a des corpuscules divergents, on doit enregistrer à la chambre quelques trajectoires, qui, venant du plomb latéral, se feront remarquer par leur proximité de l'horizontale. Sur les clichés commandés on en a enregistré 11 avec 1 rayon horizontal et 7 douteux, et en outre 3 clichés



où l'on voit une paire de rayons horizontaux ou ascendants dont l'origine peut être localisée vers la masse de plomb. Sur les clichés de contrôle on a enregistré 1 rayon horizontal, 7 douteux et aucune paire. La fréquence des rayons horizontaux, non significative à elle seule, est anormale dans les clichés commandés et appuie l'hypothèse des corpuscules divergents.

c. Les 111 clichés commandés et les 75 clichés au hasard restants présentent une répartition identique par nombre de rayons.

Rayons	0.	1.	2.	3.
	%	%	%	%
Clichés commandés	57	32	10	2
Clichés au hasard	56	35	12	0
Répartition de Poisson	55	33	10	2

C'est exactement ce que l'on doit attendre s'il y a en moyenne 0,6 rayon par cliché passant au hasard pendant le temps d'efficacité de la chambre. Les clichés ne contenant ni rayons horizontaux ni partie centrale de grande gerbe ne se distinguent donc aucunement de clichés pris au hasard, ce qui confirme la faible association avec les gerbes de l'air.

Conclusion. — Ces expériences détaillées conduisent à un résultat analogue à celui de Stearns (3), qui avait conclu que les rayons pénétrants simultanés avaient leur origine dans les environs des appareils et précisent en outre qu'il s'agit d'un effet tout à fait différent des gerbes ordinaires. Ces expériences sont en contradiction non avec les expériences, mais avec les conclusions de Wataghin, Souza Santos et Pompeia, qui ne considèrent que des particules pénétrantes simultanées. Nos propres expériences en confirment l'existence, mais prouvent qu'elles ne jouent aux épaisseurs de cloison considérées qu'un rôle très secondaire.

CHIMIE PHYSIQUE. — *Sur le pouvoir émulsif des acides α-aminés.* Note de M. **Jean Loiseleur**, présentée par M. Gabriel Bertrand.

Le caractère hétéropolaire des acides α-aminés laisse prévoir qu'ils peuvent posséder le pouvoir émulsif. Pour mettre ce fait en évidence, la technique a consisté à agiter une solution cétonique de paraffine (F 70°), à 0,5 % environ, avec une solution hydroalcoolique bouillante, saturée, de l'acide aminé expérimenté. Cette émulsion est agitée avec un volume égal d'eau, l'excès de paraffine séparé par filtration et le liquide débarrassé de l'acide aminé non combiné par dialyse. Le pouvoir émulsif est mesuré par l'intensité de la lumière transmise (intensité exprimée par la densité optique δ de l'émulsion obtenue).

I. Tous les acides aminés dont la chaîne est apolaire permettent la

(3) Stearns, *Phys. Rev.*, 57, 1940, p. 335.

préparation de suspensions stables de paraffine. Le pouvoir émulsif augmente avec la longueur de la chaîne.

	Glycocolle.	Alanine.	Valine.	Leucine.	Isoleucine.
Pouvoir émulsif exprimé par la densité optique de l'émulsion...	0,05	0,13	0,52	0,70	1,80

La phénylalanine, dont la partie apolaire (cyclique) est plus importante, possède un pouvoir émulsif encore plus grand ($\delta = 6$).

II. Au contraire, les acides aminés dont la chaîne se termine par un groupement polaire (a-aspartique, a-glutamique, lysine) sont dépourvus de ce pouvoir émulsif.

Il en résulte donc que le caractère apolaire de l'une des extrémités de la chaîne est la condition formelle du pouvoir émulsif. Les deux exemples suivants confirment cette règle générale. C'est ainsi que la cystéine, dont la chaîne se termine par le groupe polaire — SH, n'émulsionne pas, tandis que la méthionine, où ce groupement sulfhydrique est bloqué par un groupe méthylique, possède à un haut degré le pouvoir émulsif. Le même contraste s'observe dans le cas de la tyrosine et de la phénylalanine :

	δ.
Cystéine $HS—CH^2—CH(NH^2).CO^2H$	0,02
Méthionine $CH^3—S—CH^2—CH^2—CH(NH^2).CO^2H$	1,89
Tyrosine $HO—C^6H^4—CH^2—CH(NH^2).CO^2H$	0,2
Phénylanaline $C^6H^5—CH^2—CH(NH^2).CO^2H$	6

Grâce au caractère amphotère de l'agent émulsif, la stabilité de ces suspensions de paraffine est remarquable et reste indépendante du pH et de la composition saline du milieu.

D'après la représentation généralement admise de la structure des suspensions, chaque sphérule du corps dispersé est enrobée d'une couche protectrice de l'émulsionnant (savon par exemple), ce dernier étant disposé radialement, sa tête paraffinique appuyée sur le granule et ses groupes hydrophyles plongeant dans l'eau. Dans le cas présent des acides aminés, les deux groupements amphotères voisins jouent le rôle de la partie polaire hydrophyle et la chaîne le rôle de la partie paraffinique. On comprend dès lors que la propriété émulsionnante disparaisse dès que l'extrémité de la chaîne perd son caractère paraffinique.

Ces faits constituent un argument en faveur de la théorie (1) admettant, dans la structure de la molécule protéique, une disposition des acides aminés constitutifs conditionnée par le caractère polaire ou apolaire de leurs chaînes. Par ailleurs, on pourrait admettre une telle intervention des acides aminés lors de l'émulsification des corps gras dans l'intestin.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Recherches dans la série de la cyclohexanone. Acides homo-*nor-*camphorique et* nor-*bornéol-carboxylique*. Note (1) de MM. **Henry Gault** et **Ki-Wei Hiong**, présentée par M. Marcel Delépine.

L'ester cyclohexanone-1 carboxylique-2 (I), préparé selon les indications de Kötz et Michael (2), se condense aisément avec le formaldéhyde à 35 % en conduisant (rendement 90 %) à l'ester hydroxyméthyl-2 cyclohexanone-1 carboxylique-2 (II), qui, indistillable sans décomposition, peut être séparé commodément de l'ester initial (I) par traitement à la soude.

L'ester hydroxyméthyl-2 cyclohexanone-1 carboxylique-2 donne facilement l'ester acétique correspondant ($E_{1,5}$ 153°-154°) (III), dont nous avons étudié l'hydrolyse potassique en nous plaçant dans les conditions expérimentales identiques à celles qui avaient permis à l'un de nous (3) d'obtenir l'acide *nor*-camphorique à partir du dérivé acétylé de l'ester hydroxyméthyl-cyclopentanone-carboxylique.

Dans ce cas encore, l'hydrolyse ouvre le cycle hexanonique en 1-2 et l'acide-alcool formé se cyclise en 5-7, par déshydratation intramoléculaire, en donnant naissance à un acide homo-*nor*-camphorique (IV) (F 85°), qui apparaît ainsi comme un isomère de l'acide préparé antérieurement par Hintikka et Komppa (4) (F 137°-137°,5). La constitution de cet acide est démontrée par la réaction même de cyclisation qui l'engendre et qui ne peut porter que sur les atomes de carbone 5-7. Si elle s'établissait, en effet, entre les atomes de carbone 6-7, elle serait génératrice de l'acide hexahydro-isophtalique; or les propriétés chimiques de l'acide que nous

(1) D. Dervichian, *Comptes rendus*, 211, 1940, p. 792; 212, 1941, p. 86.

(1) Séance du 25 août 1941.

(2) *Lieb. Ann.*, 350, 1906, p. 210; Kötz, *Lieb. Ann.*, 358, 1908, p. 198.

(3) H. Gault et L. Daltroff, *Comptes rendus*, 209, 1939, p. 997.

(4) *Chem. Zentr.*, 1918, 1, p. 370

avons obtenu le rapprochent de l'acide adipique et sont, par conséquent, très différentes de celles de l'acide hexahydro-isophtalique; c'est ainsi, par exemple, que l'ester diéthylique (E_{14} 146°-147°) (V) de l'acide homo-*nor*-camphorique se cyclise, sous l'action du sodium, d'une manière tout à fait analogue à l'ester adipique ([5]), avec formation de l'ester *nor*-camphre-carboxylique (VI) (E_{20} 126°-127°).

$CO\,OC^2H^5$ — CH — cycle (H^2C, H^2C, CH^2, CH^2, CO) (I) + HCHO → $CO\,OC^2H^5$ — $C—CH^2OH$ — cycle (H^2C, H^2C, CH^2, CH^2, CO) (II) → $CO\,OC^2H^5$ — $C—CH^2—O—COCH^3$ (7) — cycle (H^2C (3), H^2C (4), (5), CH^2 (6), CH^2, CO (1), (2)) (III)

→ $CO\,OH$ — $CH—CH^2OH$ (7) — cycle (H^2C (3), (2), $CO\,OH$ (1), H^2C (4), (5), CH^2 (6), CHH) → $CO\,OH$ — H^2C——CH (3) (2) — (7) CH^2 — (4) (5) — H^2C——CH—CH^2—$CO\,OH$ (6) (1) (IV)

$CH^2—CH—CO\,OC^2H^5$ | CH^2 | $CH^2—CH—CHH—CO\,OC^2H^5$ (V) → $CH^2—CH—CO$ | CH^2 | $CH^2—CH—CH—CO\,OC^2H^5$ (VI) → $CH^2—CH—CH\,OH$ | CH^2 | $CH^2—CH—CH—CO\,OC^2H^5$ (VII)

A la vérité, nous n'avons pu isoler l'acide libre lui-même, pas plus que le *nor*-camphre, dans les produits d'hydrolyse de ce dernier ester. Cependant sa constitution est établie aussi bien par l'analyse que par sa transformation en hydrazone (F 182°-183°) d'une part, et d'autre part, successivement, en ester *nor*-bornéol-carboxylique (VII) (E_{18} 120°-122°); ester acétique (E_{20} 138°-139°) et acide *nor*-bornéol-carboxylique (F 62°-63°). Nous n'avons pas réussi jusqu'à présent à décarboxyler ce dernier acide en *nor*-bornéol.

Nous poursuivons ces recherches.

([5]) Dieckmann, *Ber. d. chem. Ges.*, 27, 1894, p. 103; *Lieb. Ann.*, 317, 1901, p. 47.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Sur l'anhydride mixte des acides salicylique et carbonique : benzo-1, 3-dioxanedione.* Note de M. **Alexis Tchitchibabine**, présentée par M. Marcel Delépine.

En 1934, a été publié le brevet français n° 771653 de M. L. A. Dupont (¹) sur une substance à laquelle a été attribuée la structure sus-nommée [formule (I)]. Cette substance s'obtient par action du phosgène sur le

O, CO, O, CO
(I)

—O—CO^2CH^3, —CO OH
(II)

—O—CO O C^2H^5, —CO^2H
(III)

phénatosel de l'acide salicylique. La description du brevet est très courte. La substance s'obtient par action de $COCl^2$ dissous dans du toluène sur le sel $C^7H^4O^3Na^2$ à basses températures. Recristallisée dans le benzène, elle se présente comme une poudre blanche qui se décompose à 112°.

Le brevet ne contient aucune preuve de la structure attribuée à ce corps par l'auteur du brevet, et aucune publication sur ce sujet n'a paru depuis. Cependant, comme l'indique l'auteur, la structure de cette substance peut être intéressante au point de vue des synthèses des dérivés de l'acide salicylique.

La substance obtenue selon les indications du brevet se présente en effet comme une poudre cristalline blanche, qui, chauffée dans un capillaire, pas trop lentement, se décompose à 112-113° avec production abondante de bulles de gaz. Elle a un goût douceâtre d'abord, puis faiblement acide.

Son analyse n'a donc pas donné de bons résultats. Le contenu en carbone et en hydrogène est environ 0,6 % plus élevé de ce qu'exige la formule $C^8H^4O^4$. Une nouvelle recristallisation dans le benzène n'a élevé que très peu son point de décomposition (114°), et l'analyse a donné des résultats qui diffèrent encore plus de ceux qu'exige la formule, notamment en moyenne % C, 59,74; H, 3,33.

Cette composition correspond plutôt à la formule $C^{15}H^{10}O^7$, corps

(¹) *Chem. Zentr.*, 1935, **1**, p. 3851.

qui pourrait se former à partir de deux molécules de salicylate et une molécule de phosgène.

		C.	H.
$C^8H^4O^4$,	calc. %.........	58,54	2,47
$C^{15}H^{10}O^7$,	–	59,16	3,31

Cependant les recherches ultérieures ont prouvé qu'en réalité la substance possède la structure attribuée par l'auteur. Elle est assez stable à l'air sec, mais extrêmement instable vis-à-vis des agents chimiques.

1° Avec l'eau, le produit réagit même à froid avec dégagement de gaz carbonique et avec formation d'acide salicylique

$$C^8H^4O^4 + H^2O = C^7H^6O^3 + CO^2.$$

Avec l'eau chaude, cette décomposition se produit très énergiquement. La présence des acides minéraux accélère la décomposition à froid.

Placé sur le papier humide de tournesol bleu, le produit pulvérisé ne change pas immédiatement la couleur du papier, mais après quelques instants ce dernier se colore en rouge. Un échantillon abandonné pendant deux ans dans un ballon non hermétiquement bouché s'est transformé en acide salicylique.

2° Dans une solution alcoolique, le produit se titre avec la phénolphtaléine comme s'il contenait un carboxyle libre.

Avec les alcools, le produit réagit lentement, même à froid et très vite quand on chauffe la solution alcoolique. La réaction principale avec l'alcool méthylique s'effectue sans dégagement de gaz carbonique. Le produit de cette réaction, qui précipite de la solution concentrée, est une poudre cristalline. Il se décompose quand on le chauffe dans un capillaire au-dessus de 120°; sa décomposition est plus lente que celle du produit primitif. Au bloc Maquenne, son point de décomposition est de 138°.

Cette substance est identique (analyse et point de fusion) au produit obtenu par E. Fischer (²) par l'action du chlorocarbonate de méthyle sur l'acide salicylique en solution alcaline. Il a la structure (II) (acide carbométhoxysalicylique).

Cette réaction a permis de résoudre la question de la composition en faveur de la formule $C^8H^4O^4$, au détriment de la formule $C^{15}H^{10}O^7$. A savoir, tandis que la formation de la substance susdite peut s'effectuer à

(²) *Ber. d. chem. Ges.*, **42**, 1909, p. 218.

partir de la substance $C^8H^4O^4$ selon l'équation

$$\text{(A)} \qquad C^8H^4O^4 + CH^3OH = C^6H^4\begin{cases} O-CO^2CH^3 \\ COOH \end{cases},$$

la substance de formule $C^{15}H^{10}O^7$ devrait former une molécule de la combinaison (II) et une molécule d'acide salicylique :

$$\text{(B)} \qquad C^{15}H^{10}O^7 + CH^3OH = C^6H^4\begin{cases} O-CO^2CH^3 \\ COOH \end{cases} + C^6H^4\begin{cases} COOH \\ OH \end{cases};$$

mais une recherche approfondie a montré que le produit de réaction avec l'alcool méthylique ne contient l'acide salicylique libre qu'en quantités insignifiantes, et que le produit (II) se forme presque en quantité correspondant à l'équation A.

Outre cette substance, on trouve seulement des traces de salicylate de méthyle qui pourrait se former à partir de $C^8H^4O^4$, avec dégagement de gaz carbonique selon l'équation

$$C^8H^4O^4 + CH^3OH = C^6H^4\begin{cases} COOCH^3 \\ OH \end{cases} + CO^2.$$

Il est donc possible que le salicylate de méthyle se forme non à partir du produit $C^8H^4O^4$, mais avec des impuretés parmi lesquelles l'anhydride salicylique est le plus probable.

3° Le poids moléculaire trouvé par la méthode cryoscopique en solution benzénique est de 166, tandis que, pour la formule $C^8H^4O^4$, le poids moléculaire théorique est de 168. Ainsi la structure (I), pour la substance de Dupont, est définitivement établie.

Des essais préliminaires ont démontré qu'un produit analogue [3] (III) (feuillets F 95°) s'obtient avec l'alcool éthylique, quoique son rendement semble moins bon qu'avec l'alcool méthylique.

On peut mentionner qu'une tentative de recristallisation du produit (I) dans l'acétate d'éthyle a donné une substance à point de fusion élevé dont la nature n'est pas encore établie et qui réagit sur l'anhydride acétique avec dégagement de CO^2.

([3]) Einhorn, *Ber. d. chem. Ges.*, **44**, 1911, p. 435; E. Fischer, *ibid.*, **42**, 1909, p. 218.

HYDROLOGIE. — *Les pentes des marigots du Faguibine* (1937-1938). Note (¹) de M. **Vladimir Frolow.**

L'alimentation du Faguibine se fait par deux défluents du Niger, les marigots de Koundi et de Tassakant, réunis en amont de Goudam en un seul lit qui se déverse dans le lac Télé, et par là, si la crue est assez haute et longue, arrive au Faguibine. Le marigot de Tassakant est le moins grand à cause surtout du seuil de Djin Djin. Les pentes de ce système hydraulique sont décrites ici d'après les relevés des échelles de l'Office du Niger et de celle de Diré sur le Niger même.

Marigot de Koundi. — La pente des eaux entre Bourem et Goundam depuis l'étiage (7,5 cm/km) jusqu'à la fin novembre (15,5 cm/km), a une marche similaire avec celle des niveaux du Niger. Ainsi, le palier de juin et l'infléchissement vers le 15 septembre sont communs aux deux graphiques. Les petites dentelures sont dues aux pluies locales qui font monter le niveau à Goumdam (ruissellement sur la montagne), mais restent insensibles près du Niger (plaine). Dès le début de décembre la pente décroît, tandis que la crue est pratiquement étale. C'est un effet de l'élévation des eaux en aval. Le même effet qu'en amont du Débo se fait sentir ici mais en plus petit (²).

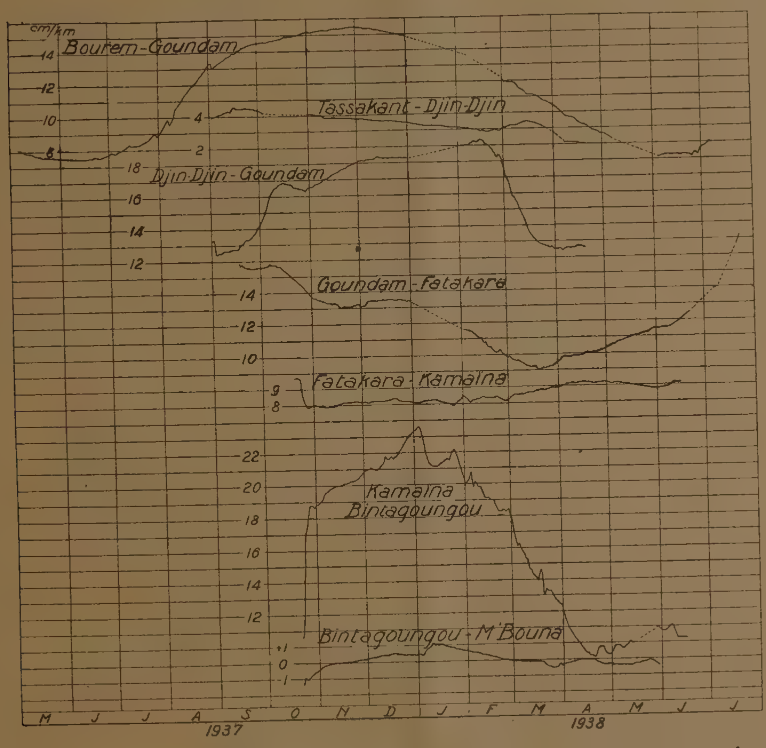
Marigot de Tassakant. — Les observations ne couvrent pas une année entière aux échelles autres que Goundam. On ne saurait décrire la marche des pentes au début de la crue entre Tassakant et Djin Djin. Il est possible qu'il y ait alors une augmentation de la pente qui reste toutefois plus faible que le long du marigot de Koundi, dépassant de peu 4,5 cm/km. A partir de la fin septembre, la pente en amont de Djin Djin décroît régulièrement, tant que le niveau dépasse à Diré 4,30 m. Le seuil fait obstacle à l'introduction *des eaux du sommet de la crue.* Entre le 15 et le 20 février seulement le plan d'eau d'amont baisse assez pour qu'il soit capable d'écouler toute l'eau qui y arrive. On constate alors une nouvelle, mais faible, reprise de la pente. Celle-ci reste insuffisante pour déterminer une usure du seuil. En aval, entre Djin Djin et Goundam, la pente se maintient entre des limites plus élevées (12,4 à 19,4 cm/km) que le long du marigot

(¹) Séance du 1ᵉʳ septembre 1941.

(²) *Le Niger moyen*, Paris, 1934, p. 123.

de Koundi. Le lit est encombré d'herbes et le faible débit arrivant à Djin Djin s'écoule difficilement.

Marigot de Goundam. — Entre Goundam et Fatakara la pente est fonction du débit des marigots et aussi du remplissage du lac Télé. Elle augmente rapidement au début de la crue pour atteindre 17 cm/km et diminue ensuite avec des oscillations secondaires jusqu'à 9 cm/km vers le 20 mars. Jusqu'à la crue suivante la pente augmente ensuite, mais plus lentement qu'elle ne diminuait. Cette phase est due à la prédominance de l'évaporation dans le Télé sur l'apport des eaux.



Lac Télé. — La marche de la pente entre Fatakara et Kamaïna est inverse de la crue du Niger. Sa valeur minimum (8 cm/km) se maintient près de 4 mois. Elle est suivie d'une augmentation lente, attribuable peut-être aux cultures qui dès le début du retrait des eaux s'installent en bordure du lac.

Le Faguibine. — Les pentes du marigot entre Kamaïna et Bintagoungou sont les plus fortes sur le système étudié, dépassant 23 cm/km et se maintenant au-dessus de 20 cm/km pendant plusieurs semaines. La variation de la pente au début et à la fin de l'écoulement est très rapide. Dans le lac même, entre Bintagoungou et M'Bouna, la pente de l'eau a une amplitude réduite (de l'ordre de 1,5 cm/km). On y voit une grande onde correspondant à l'épanchement des eaux de crue, suivie de variations plus faibles, peut-être dues au vent. La réalité des contre-pentes devrait être contrôlée par un nivellement de précision.

Résumé. — La description précédente se rapporte à la crue 1937-1938. L'écoulement peut être suspendu pour des crues plus faibles. Lorsqu'il existe, les pentes, sauf en amont de Djin Djin et dans le Télé, sont assez fortes pour que les lits soient naturellement maintenus. Seule une longue suite d'années sèches pourrait déterminer l'ensablement par le vent des marigots du Faguibine et contribuer à son assèchement. Aussi l'arasement du seuil de Djin Djin servirait à alimenter mieux ce lac et y assurer une production agricole plus régulière.

PHYSIQUE DU GLOBE. — *Présence possible de bandes du système de Lyman de la molécule d'azote dans le rayonnement ultraviolet du ciel nocturne.* Note de M. **Georges Déjardin**, transmise par M. Charles Fabry.

Parmi les bandes de l'azote qui apparaissent dans l'ultraviolet extrême, les plus importantes correspondent à la transition $a\,{}^1\Pi \rightarrow X\,{}^1\Sigma$. Mesurées tout d'abord par Lyman, elles ont été étudiées et classées par Birge et Hopfield [1], qui, entre 1200 et 2100 Å, ont identifié plus de 60 bandes dont les têtes sont représentées par la formule

$$(1)\quad \nu = 68962{,}7 + (1678{,}959\,v' - 13{,}3181\,v'^2 - 0{,}035353\,v'^3) - (2345{,}16\,v'' - 14{,}445\,v''^2).$$

Bien que le spectre du ciel nocturne soit limité, vers les courtes longueurs d'onde, au voisinage de 2850 Å, il ne semble pas impossible, *a priori*, que le système de Lyman puisse se manifester dans l'émission du ciel. Le niveau initial a ($v' = 0$), qui correspond à 8,5 V environ, s'intercale entre les niveaux B (7,3 V) et C (11,0 V) de la molécule d'azote. Or, on doit considérer comme à peu près certaine la présence permanente,

(1) *Astrophys. Journ.*, 68, 1928, p. 257-278.

dans le rayonnement nocturne, des bandes B → A et C → B (premier et second systèmes positifs). La même conclusion s'impose encore plus nettement pour les bandes A → X de Vegard-Kaplan ; leur prédominance, dans certaines régions du spectre, résulte sans doute de la faible valeur du potentiel d'excitation (6,1 V).

L'identification de nombreuses bandes A → X dans le spectre du ciel dépend essentiellement de la validité de la formule de Herzberg, établie à partir des bandes découvertes par Kaplan *dans l'ultraviolet assez lointain*. Dans le rayonnement nocturne, les bandes A → X les plus intenses, qui appartiennent aux séquences $v'' - v' = 11$, 12 et 13, apparaissent *dans la région la plus réfrangible du spectre visible*, où les observations de laboratoire sont encore très peu nombreuses et, à certains égards, insuffisantes ([2]). Cependant, entre 3000 et 5000 Å, les coïncidences sont trop nombreuses et trop bien groupées pour qu'on puisse révoquer en doute la réalité de la plupart d'entre elles. Les conditions d'excitation de la haute atmosphère sont certainement favorables à l'émission des bandes A → X et *à l'extension de ce système vers les grandes longueurs d'onde*. Il est donc permis de supposer qu'il en est de même pour le système de Lyman. D'ailleurs l'existence de bandes *a* → X à quanta de vibration élevés, s'étendant jusqu'à 2425 Å, ($v' = 11$, $v'' = 22$), et même probablement jusqu'à 2800 Å, a été établie expérimentalement par Kaplan et Levanas ([3]).

L'hypothèse de la présence des bandes *a* → X dans le rayonnement nocturne a été proposée récemment par Elvey, Swings et Walter Linke ([4]). Les rapprochements suggérés ne font intervenir que les radiations nocturnes les plus intenses, souvent complexes, relevées directement sur

---

([2]) R. Bernard (*Ann. de Phys.*, 2e série, 13, 1940, p. 1-77) est parvenu à exciter les bandes A → X du spectre visible par bombardement électronique de l'argon renfermant une trace d'azote. Ces observations sont les seules qui puissent être invoquées pour légitimer l'emploi, dans la région des grandes longueurs d'onde, de la formule de Herzberg.

Comme dans le ciel nocturne, la parabole de Franck-Condon se trouve déplacée, vers les valeurs croissantes de v'', par rapport à la courbe théorique calculée par Gauzit (*Ann. d'Astrophys.*, 1re année, 1938, p. 334-374). Dans la cathodo-luminescence de l'azote solide (Vegard), les niveaux énergétiques sont fortement perturbés et les longueurs d'onde des bandes A → X diffèrent alors considérablement de celles qui caractérisent l'azote à l'état gazeux.

([3]) *Phys. Rev.*, 46, 1934, p. 231.

([4]) *Astrophys. Journ.*, 93, 1941, p. 337-348.

les spectrogrammes obtenus par les auteurs précités. C'est ainsi qu'entre 3110 et 4050 Å, Elvey et ses collaborateurs mentionnent seulement 27 radiations, alors qu'il en existe plus d'une centaine dans les listes, suffisamment concordantes, publiées par d'autres observateurs (Dufay, Gauzit, Déjardin et ses collaborateurs). Un contrôle plus décisif peut donc être effectué en comparant les *valeurs moyennes* déduites de ces listes et les valeurs calculées à partir de la formule (1). Dans le tableau suivant les longueurs d'onde calculées figurent avant celles des radiations nocturnes, connues avec une approximation de l'ordre d'un petit nombre d'angströms ([5]).

(v', v'').	Calc.	Ciel.	(v', v'').	Calc.	Ciel.	(v', v'').	Calc.	Ciel.
(0,16)...	2845 Å	2844	(3,19)...	2895 Å	2893	(6,22)...	2945 Å	2947
(0,17)...	3005	3004	(3,20)...	3052	3052	(6,23)...	3100	3102
(0,18)...	3181	3177	(3,21)...	3225	3228	(6,24)...	3269	3269
(0,19)...	3375	3377	(3,22)...	3415	3416	(6,25)...	3453	3452
(0,20)...	3591	3595	(3,23)...	3625	3629	(7,23)...	2962	2962
(1,17)...	2862		(4,20)...	2911	2914	(7,24)...	3116	3115
(1,18)...	3021	3020	(4,21)...	3068	3067	(7,25)...	3283	3285
(1,19)...	3196	3194	(4,22)...	3239	3240	(7,26)...	3466	3468
(1,20)...	3389	3393	(4,23)...	3428	3431	(8,24)...	2979	2980
(1,21)...	3603	3601	(4,24)...	3635	3637	(8,25)...	3132	3134
(2,18)...	2878	2880	(5,21)...	2928	2928	(8,26)...	3298	3297
(2,19)...	3036	3034	(5,22)...	3084	3085	(9,24)...	2856	2856
(2,20)...	3210	3213	(5,23)...	3254	3255	(9,25)...	2996	2995
(2,21)...	3402	3399	(5,24)...	3441	3438	(9,26)...	3148	3150
(2,22)...	3614	3612	(5,25)...	3646	3644	(9,27)...	3313	3315

Si l'on admet que la formule (1), ainsi que celle de Herzberg, reste valable pour les valeurs élevées de v'', l'existence des bandes de Lyman dans le spectre du ciel peut être considérée comme très probable. La faible intensité relative des radiations nocturnes incriminées ([6]) semble conforme à l'ordre des potentiels d'excitation. L'hypothèse de Elvey, Swings et Walter Linke mérite donc d'être provisoirement retenue. Elle

---

([5]) Un grand nombre d'autres coïncidences se présentent pour des bandes correspondant à des valeurs plus élevées de v' et v''.

Un tableau plus complet a d'ailleurs été présenté par l'auteur à la Société Française de Physique, Section de Lyon, réunion du 14 juin 1941.

([6]) Certaines d'entre elles peuvent cependant être interprétées d'une manière différente. Dans l'analyse du rayonnement nocturne, la faible dispersion des spectrogrammes rend inévitables de nombreuses superpositions.

n'est pas en contradiction formelle avec celle qui fait intervenir les bandes d'émission de l'ozone ([7]). Dans la région des longueurs d'onde inférieures à 3400 Å, ces deux hypothèses sont en quelque sorte complémentaires; elles permettent d'interpréter la plupart des radiations nocturnes observées, en dehors de celles qui peuvent être attribuées au système de Vegard-Kaplan et au second système positif de l'azote.

BIOLOGIE VÉGÉTALE. — *Réalisation expérimentale d'une variété nouvelle chez une Graminée semi-éteinte.* Note ([1]) de M. **Antoine de Cugnac**, présentée par M. Marin Molliard.

On sait que *Bromus arduennensis* Dmrt., espèce annuelle strictement endémique du pays entre Liége et Givet, où elle se rencontrait dans les moissons d'Épeautre, a progressivement disparu, depuis la fin du siècle dernier, de ses stations spontanées et n'a été préservée d'une totale extinction que par sa culture régulière dans quelques Jardins botaniques. Ce mode de survie avait fait défaut à la variété *villosus* (Strail) Crép. de la même espèce, qui était complètement éteinte lorsque j'ai pu la reconstituer par synthèse génétique, à la suite du croisement de *B. arduennensis* typique avec *B. grossus* Desf. ([2]).

Un autre croisement, effectué entre la forme typique de *B. arduennensis* et une variété de *B. secalinus* L. dépourvue d'arête à la glumelle inférieure, me permet d'annoncer aujourd'hui l'apparition d'une variété nouvelle de *B. arduennensis*, caractérisée par l'absence d'arête au sommet de la glumelle inférieure. Les deux petites arêtes latérales qui terminent les lobes aigus de la glumelle sont toujours présentes, ainsi que les oreillettes glumellaires si caractéristiques de l'espèce; seule manque la forte arête médiane, jusqu'ici considérée comme l'un des caractères constants de *B. arduennensis*.

Cette variété n'a encore jamais été décrite, et tout donne à penser qu'il n'en a existé jusqu'ici aucun spécimen connu, en raison de l'exiguïté du territoire auquel se limitait l'espèce, et de l'ardeur avec laquelle elle fut

---

([7]) G. Déjardin, *Comptes rendus*, 212, 1941, p. 95-98.

([1]) Séance du 25 août 1941.

([2]) *Comptes rendus*, 209, 1939, p. 61.

recherchée et étudiée au milieu du siècle dernier, la seule variation signalée ayant été la var. *villosus*.

Il est remarquable de constater que le potentiel de variabilité de l'espèce ne paraît en rien affecté par la semi-extinction dont elle a été frappée. Il en est de même, d'ailleurs, de la vitalité propre des spécimens dans les cultures, et de leur capacité reproductrice : le meilleur témoignage en est sans doute la facilité et la régularité avec lesquelles j'ai pu obtenir expérimentalement des combinaisons hybrides variées à partir de l'espèce, dans les deux sens ([3]). La cause de sa disparition à l'état spontané reste donc toujours aussi mystérieuse ([4]).

Le croisement initial a été effectué dans le sens *B. secalinus* ♀ × *B. arduennensis* ♂. Le caractère inerme de l'espèce mère se montre dominant (ou du moins presque dominant, l'hybride étant submutique, c'est-à-dire mêlé de fleurs inermes et de fleurs pourvues d'une courte arête vestigiale, analogue à l'arête tortillée au sommet qui caractérise la forme la plus habituellement signalée de *B. secalinus*), tandis que les caractères essentiels de *B. arduennensis* (oreillettes des glumelles, triple arête etc.) sont récessifs, comme je l'ai déjà signalé ailleurs ([5]). Mais l'intervention de cette dernière espèce se manifeste cependant chez l'hybride F_1 par quelques caractères secondaires, déjà rencontrés dans d'autres croisements où elle prenait part (dimension plus grande des fleurs et de l'épillet, glumelles plus allongées, dépassant latéralement les caryopses sans les enserrer étroitement par leurs bords repliés comme chez *B. secalinus*), et qui lui sont communs avec *B. grossus* var. *nitidus* (Dmrt.) A. de Cugnac et A. Camus. De fait, j'ai effectué aussi le croisement *B. secalinus* × *B. grossus nitidus*; les deux hybrides F_1 sont très semblables, tous deux présentant l'apparence d'un *B. grossus nitidus* submutique.

Il s'agit évidemment, dans ces deux croisements, d'hybrides de type mendélien, mais je n'ai pu effectuer en F_2 que des cultures trop réduites pour permettre l'analyse statistique de la descendance. Je noterai cependant que le premier m'a fourni, outre un spécimen de la variété nouvelle de *B. arduennensis*, un autre de *B. arduennensis* typique, le reste paraissant conforme à l'hybride F_1. Quant à *B. secalinus* × *grossus nitidus*, il a donné en F_2 quelques exemplaires semblables aux parents, *B. secalinus* inerme

([3]) *Comptes rendus*, 211, 1940, p. 143.

([4]) A. Maréchal, *Bull. Soc. de Bot. de Belgique*, 70, 1937, p. 51.

([5]) *Comptes rendus*, 211, 1940, p. 268.

et *B. grossus nitidus* aristé, et une forte proportion d'échantillons conformes à l'hybride F_1, *B. grossus nitidus* submutique, qui deviendra ainsi la souche d'une sous-variété nouvelle de la variété initiale [elle-même dérivée du croisement de *B. grossus* avec *B. arduennensis* (6)].

On voit par ces exemples le rôle important que peut jouer l'hybridation dans la formation de nouvelles variétés stables, lorsque les espèces initiales, tout en présentant des différences très tranchées qui leur méritent indiscutablement la qualification de bonnes espèces, sont néanmoins susceptibles de former entre elles et avec leurs variétés dérivées des hybrides mendéliens. Bien des faits de polymorphisme naturel pourraient sans doute trouver une explication de ce genre, que des séries d'expériences méthodiques devront mettre en évidence.

EMBRYOGÉNIE. — *Inhibition de la gastrulation par le froid chez l'Oursin* Paracentrotus lividus *Lk.* Note de M. **Christian Mettetal**, transmise par M. Paul Wintrebert.

Il est bien connu que, chez les Échinodermes, la possibilité de gastruler est liée à la présence d'une certaine quantité de matériel végétatif. Par contre le mécanisme même de l'invagination reste mystérieux et les diverses hypothèses émises à son sujet ne reposent sur aucune base expérimentale. Un tel problème paraît de prime abord difficile à aborder. Cependant, dès 1931, Wintrebert (1) réussit chez un Amphibien, le Discoglosse, à empêcher la gastrulation, sans arrêter la prolifération cellulaire, en maintenant les embryons à basse température (+ 3°,5 C.). Il constata ensuite que la gastrulation s'effectuait immédiatement après retour à une température normale (16° C.), et la rapidité même d'exécution du processus lui a permis d'écarter toute hypothèse autre que celle d'une contraction. Cette expérience n'a jamais été ni reprise chez les Amphibiens, ni tentée sur un autre matériel. Sa conclusion vise pourtant à la solution d'un problème général. Il m'a paru intéressant de soumettre à l'analyse par le froid la gastrulation d'un œuf dont le développement est aussi bien connu que celui de l'Oursin.

Les expériences ont été réalisées à Banyuls-sur-Mer, pendant les mois

---

(6) *Bull. Soc. bot. de France*, 86, 1939, p. 409.

(1) *Comptes rendus*, 193, 1931, p. 493.

de février et mars, de la manière suivante : les embryons, obtenus par fécondation artificielle, furent divisés en lots, provenant chacun d'un même couple. Dans mes premiers essais, le début du développement s'effectuait à la température de la chambre (16° C. environ); par la suite j'ai porté les œufs à 9° C., aussitôt la fécondation réalisée, de manière à réduire dans la mesure du possible les modifications dues aux changements brusques de température. Au moment où, chez la blastula nageante, la migration interne des micromères qui donnent le mésenchyme primaire touche à sa fin et où l'invagination des macromères est imminente, un certain nombre de larves sont portées à la glacière dans un compartiment réglé à la température choisie. Le reste du lot sert de témoin : on ne retient pour l'expérience que les lots dont les témoins se développent de manière absolument normale. L'étude des embryons a été faite au moyen de prélèvements successifs.

Lorsque la température est abaissée entre $-1°,5$ et $-0°,5$ C., les embryons meurent dans les trois premiers jours. Entre 0° et $+1°$ C., tous les embryons étaient vivants au 20e jour, quand l'expérience fut arrêtée; pendant tout le temps de celle-ci, ils restent à l'état de blastula et l'on n'observe aucun indice de formation de l'archenteron. Entre $+2°$ et $+3°$ C., le résultat varie suivant les lots : tandis que, dans une expérience, les embryons se comportent tous de manière semblable aux précédents et restent vivants à la glacière, sans gastruler pendant 40 jours, ceux d'un autre lot donnent, au bout de 12 jours, des larves à intestin tripartite et à spicules différenciés. Enfin, dans un troisième lot, quelques embryons seulement parviennent à gastruler. Les expériences concernant ces trois derniers lots ont été faites à quelques jours de distance et dans des conditions presque identiques à la température limite de réalisation du processus gastrulaire. La question se pose donc de savoir si le comportement différent n'a pas une origine génétique et ne provient pas de dissemblance existant chez les parents. Les œufs, placés entre 6° et 7° C., poursuivent un développement régulier et donnent au bout de 7 jours des plutei normaux.

Les embryons dont l'invagination archentérique a été inhibée se montrent capables de gastruler quand ils sont portés du froid à une température plus élevée, si du moins le séjour à la glacière n'a pas été prolongé outre mesure. A une température de 0° à 1° C., la capacité de gastruler se manifeste encore au 11e jour; pour un froid de $+2°$ à $+3°$ C., la gastrulation se produit encore au 15e jour; on ne l'observe plus entre le 20e et le 31e jour. La capacité de gastruler est donc passagère; son mécanisme s'inscrit dans

le temps et semble correspondre à certaines étapes de prolifération et de structure; car l'œuf qu'on empêche de gastruler vieillit sans changer de forme et continue à se diviser au ralenti. La vitesse d'apparition de l'invagination et celle de l'approfondissement de l'archenteron après réchauffement dépendent de plusieurs facteurs, le degré de température auquel les œufs ont été soumis, la durée du froid et le mode de réchauffement des œufs, qui peut être effectué par étapes ou sans transition.

Dans une autre série d'expériences, j'ai soumis au froid des embryons en cours de gastrulation, au moment où l'extrémité de l'archenteron invaginé atteignait l'équateur, et j'ai obtenu un arrêt total de l'invagination pour des conditions identiques à celles qui inhibent le déclenchement du processus chez les blastulas.

En résumé, un refroidissement à une température convenablement choisie permet d'inhiber, chez l'Oursin, l'invagination de l'archenteron. Cette inhibition est réversible. Elle n'est donc pas due à une lésion des cellules, mais à l'arrêt d'un processus physiologique. Celui-ci paraît bien être une contraction qui est soit empêchée, soit arrêtée en cours de route, par le froid, de manière quasi instantanée, et s'instaure et reprend quand on réchauffe les œufs.

PROTISTOLOGIE. — *L'appareil flagellaire des Trichonymphines.* Note (¹) de MM. **Octave Duboscq** et **Pierre-P. Grassé**, présentée par M. Maurice Caullery.

Les Hypermastigines ont donné lieu à de nombreux travaux. Leurs structures sont si complexes qu'elles ne sont encore qu'imparfaitement connues; ainsi, malgré de belles recherches, comme celles de Cleveland (²) qui font date pour la cytologie des Trichonymphines, l'appareil flagellaire nous paraît n'avoir pas été compris.

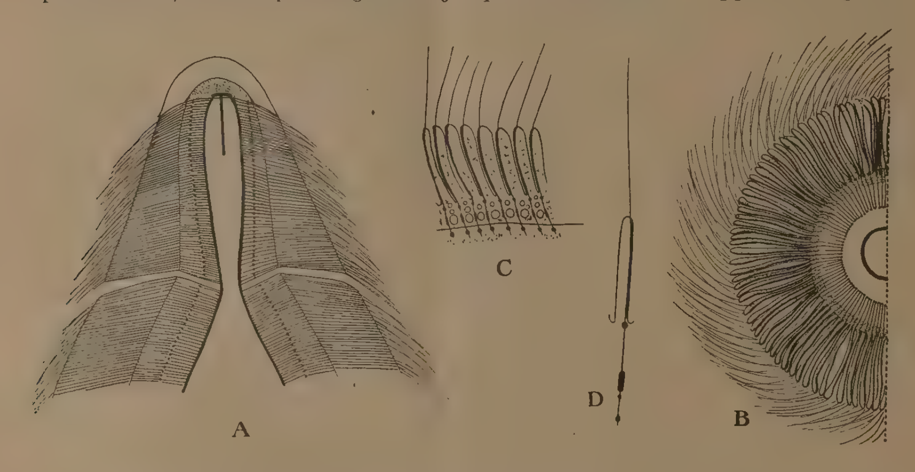
On le décrit, dans une *Trichonympha*, comme une nappe flagellaire faite d'un ectoplasme hyalin, épais, traversé par la partie inférieure des flagelles, les granules basaux étant à la surface de l'endoplasme. Avec une pareille structure, les *Trichonympha* auraient une disposition flagellaire tout autre que celle des *Spirotrichonympha*.

(¹) Séance du 11 août 1941.

(²) *Memoirs Amer. Acad.*, 17, 1934, p. 184.

Nous avons trouvé un objet d'étude favorable dans la *Deltotrichonympha numidica* (Duboscq, Grassé et Rose), que nous avons brièvement décrite [3], en soulignant sa parenté avec la *Trichonympha turkestanica* de Bernstein (1928) [4], toutes les deux parasites de Termites du genre *Anacanthotermes*.

Le rostre, comme l'a vu Cleveland, est fait d'un tube colorable de structure complexe (*fig.* A). De l'extérieur à l'intérieur, on y reconnaît une couche de grains basaux ou blépharoplastes, plus en dedans les filaments parabasaux, enfin le prolongement jusqu'au centriole de l'appareil suspenseur du noyau, que Cleveland appelle la manche nucléaire et qui, pour nous, représente une formation fusoriale, comme le cône centrosomien d'un choanocyte. Le tube rostral est fermé par la tête aplatie d'un centriole en forme de clou, dont toute la pointe occupe l'axe du tube et correspond au centriole de Cleveland. Comme, après certaines colorations, la tête du clou se colore un peu différemment, on peut se demander si elle ne représente pas une sphère (centrosome) autour du centriole. Les classiques décrivent autour de ce tube un épais ectoplasme tronconique, traversé par les bases des flagelles. Ils comprennent l'area post-rostrale de la même



A, coupe longitudinale du rostre de *Deltotrichonympha numidica*; B, demi-coupe transversale du rostre, passant un peu au-dessous du centrosome; C, portion d'une coupe transversale de la région inférieure; D, détail d'un flagelle.

(3) *Comptes rendus*, 205, 1937, p. 574.
(4) *Arch. f. Protistenkunde*, 61, 1928, p. 9.

façon : les granules basaux, à la surface de l'endoplasme, donnent naissance aux flagelles dont la partie basale traverse un ectoplasme hyalin épais.

Si l'on étudie des coupes transversales de *Deltotrichonympha*, après fixation au mélange de Champy ou au Mann-Kopsch (sublimé osmique), on voit que l'ectoplasme des auteurs est fait d'une série de lamelles, bien distinctes les unes des autres, séparées par des intervalles, très nets, surtout à la partie postérieure. En effet, plus on s'éloigne du rostre, plus la lamelle longitudinale s'épaissit et plus les espaces interlamellaires s'élargissent (*fig.* B et C).

Les flagelles partent des grains basaux situés à la périphérie de l'endoplasme et peuvent montrer plusieurs épaississements; ainsi nous trouvons : un premier granule, un épaississement en bâtonnet correspondant sans doute à la plaquette de Cleveland; puis, plus extérieurement, au point où les lamelles sont distinctes les unes des autres, un autre grain (*fig.* D). A partir de là, le flagelle s'applique sur une des faces de la lamelle, qui, de ce fait, paraît plus foncée que l'autre. Dans certaines préparations, toutes la partie interne du flagelle est formée d'une file de granules.

La base des lamelles est la zone la plus difficile à étudier, parce qu'elle est vacuolaire; on distingue, au-dessous de chaque lamelle, une grande vacuole basale et une ou deux plus petites (*fig.* C).

Ces vacuoles, au moment de la division et de l'enkystement, s'agrandissent et donnent à l'ectoplasme un aspect alvéolaire. Kofoid et Swezy (1919) ([5]) les ont vues au stade de télophase avancée, quand les lamelles se reconstituent.

Chaque lamelle, par sa structure, par la disposition en file des grains basaux et des flagelles, correspond à une ligne flagellaire.

Sur une coupe optique, l'ectoplasme paraît envahi par de nombreux bacilles (3^{μ}) de répartition inégale. Ils sont nombreux dans la partie postérieure de la zone flagellaire, dont la limite supérieure est au niveau du noyau. C'est même là qu'ils sont le plus denses, si bien, qu'après coloration, ils y dessinent un anneau en avant duquel ils deviennent rares. En réalité, toutes ces bactéries sont externes, insinuées dans les espaces interlamellaires. Or c'est à partir de l'anneau bactérien que le corps de la *Deltotrichonympha* s'effile en cône et qu'assez brusquement les lamelles se

---

([5]) *Univ. of California Publ., Zool.*, **20**, 1919, p. 1.

resserrent; les espaces deviennent si étroits que les bacilles ne peuvent y pénétrer que difficilement.

Bernstein (1928) s'est trouvée devant un cas semblable avec *Deltotrichonympha turkestanica*, mais, au lieu de Bacilles, elle a eu affaire à de petits Microcoques, qu'elle a interprétés comme les grains basaux des flagelles.

Avec les idées classiques, la structure flagellaire d'une *Trichonympha* différait beaucoup de celle d'une *Spirotrichonympha*. Dans un cas, les flagelles étaient englués dans une nappe ectoplasmique; dans l'autre, ils étaient appliqués sur une lame saillante en file linéaire, comme nous (Duboscq et Grassé 1927) (6) et Cleveland (1938) (7) l'avons montré.

En réalité, la structure que nous décrivons prouve que l'appareil flagellaire des *Trichonympha* se ramène à celui des *Spirotrichonympha*. Il n'en diffère que par le plus grand nombre des lamelles flagellaires et leur direction sensiblement longitudinale, bien que légèrement spirale et léiotrope, comme le montrent les études de la région polaire (Duboscq et Grassé, 1927).

Nous profitons de cette Communication pour rectifier une erreur de notre Note de 1937; nous y disions que les parabasaux de *Deltotrichonympha* s'appliquent sur le noyau sans s'étendre au delà. En fait, avec de bonnes colorations, on voit qu'ils vont beaucoup plus loin et se poursuivent jusqu'à la fin de la zone flagellaire, la dépassant même un peu.

ANTHROPOLOGIE. — *Observations sur le rachitisme dans la race noire.* Note de M. **Jacques Millot**, transmise par M. Paul Portier.

Il existe dans la fréquence du rachitisme certaines différences raciales d'un grand intérêt. Depuis longtemps les médecins américains avaient remarqué que, dans le Nord des États-Unis, les jeunes Nègres étaient plus souvent atteints par la maladie que les enfants blancs dans la même région, et souvent dans une extraordinaire proportion : plus de 80 % dans certaines villes [Mitchell (1), Clements (2)]. Aucune particularité de l'alimentation

---

(6) *Arch. Zool. Exp.*, 66, 1927, p. 451.
(7) *Biol. Bull.*, 74, 1938, p. 1.

(1) F. T. Mitchell, *Sc. Med. Journ.*, 23, 1930, pp. 228-237.
(2) F. Clements, *Amer. J. phys. Anthrop.*, 15, 1931, pp. 493-501.

ou du genre de vie ne permettait d'expliquer cette différence saisissante.

Les faits s'éclairèrent à la suite de la double découverte de la formation dans la peau de la vitamine D, vitamine antirachitique, sous l'action des radiations solaires, et du rôle d'écran que joue le pigment cutané vis-à-vis de ces mêmes radiations : il apparaissait que le Nègre américain devait à la coloration foncée de sa peau une carence en vitamine, facteur fondamental de la maladie.

Des observations significatives que j'ai faites en Afrique tropicale viennent appuyer la conclusion précédente et lui donner toute sa valeur. Ayant parcouru les régions les plus variées de la Guinée, de la Côte d'Ivoire et du Soudan, j'ai constaté que, contrairement à ce qui existe aux États-Unis, le rachitisme est, dans l'ensemble, très rare dans la population noire, et cela malgré une alimentation souvent des plus insuffisantes. J'ai particulièrement étudié les tribus qui peuplent les lumineuses savanes de la Haute-Volta (Lobis, Birifors, Dagaris, Mossis) : la maladie y est pratiquement inconnue. Récemment, de Langen ([3]) ayant remarqué aux Indes Néerlandaises une absence analogue de l'affection, même dans les classes indigènes les plus pauvres, en tire la conclusion insuffisante que la nourriture et le genre de vie sont, en Insulinde, beaucoup plus satisfaisants qu'en Europe. En réalité, la lumière tropicale paraît le seul facteur responsable : ses radiations, assez puissantes pour traverser l'écran pigmentaire des Malais de Java, comme celui des Nègres du Soudan, assurent une production de vitamine garantissant de tout rachitisme. Je crois en apporter la démonstration décisive. J'ai constaté en effet que dans certaines tribus africaines, au contraire, l'avitaminose D fait de grands ravages : ce sont exclusivement celles qui habitent la zone de la forêt dense. Ainsi, dans la région située aux confins de la Guinée, de la Côte d'Ivoire et de la Sierra Leone, j'ai rencontré un grand nombre d'enfants présentant des troubles de croissance, des malformations osseuses et tous les stigmates de la maladie. Or l'épaisseur des forêts tropicales est telle que le soleil ne la traverse jamais et que l'ombre y règne en maîtresse : l'on ne peut s'étonner que les habitants soient fortement carencés.

D'autres faits, qui ne peuvent être détaillés ici, concernant la répartition du rachitisme dans les différentes populations du globe, montrent de la façon la plus nette que, réserve faite de conditions alimentaires parti-

---

([3]) C. D. de Langen et A. Lichtenstein, *A Clinical Text Book of Tropical Medecine*, Amsterdam, 1936.

culières, la fréquence de la maladie dépend directement du rapport qui s'établit entre la quantité de mélanine cutanée et l'irradiation à laquelle la peau se trouve soumise. La race intervient bien dans la sensibilité à l'avitaminose, mais seulement par le moyen de la coloration tégumentaire.

Il n'est pas sans intérêt d'ajouter qu'en Afrique Occidentale française les Nègres de savanes et les Nègres de forêts ne s'opposent pas seulement par l'absence ou la fréquence du rachitisme : recherchant les anomalies de taille d'origine endocrinienne, j'ai exclusivement rencontré du gigantisme chez les premiers, du nanisme chez les seconds.

Le plus souvent d'ailleurs, on le sait, la taille moyenne des uns et des autres diffère nettement, les Nègres de forêts étant toujours de très petite stature : sans doute le faible éclairement auquel ils sont soumis intervient-il dans leur métabolisme endocrinien et est-il un des facteurs primordiaux de leur morphologie particulière.

La séance est levée à 15^h45^m.

A. Lx.